

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Provozně technické hodnocení kolejových vozidel vybrané řady po
modernizaci

Operational technical review of selected range of rail vehicles after
modernization

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Pavel Šperlich
Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

OSTRAVA 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Šperlich**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Dopravní technika
Téma: **Provozně technické hodnocení kolejových vozidel vybrané řady po modernizaci**
Operational Technical Review of Selected Range of Rail Vehicles after Modernization

Zásady pro vypracování:

Cíl:

S využitím empirických dat z provozu a údržby kolejových vozidel provést zhodnocení dosažených parametrů.

Osnova:

1. Stručný technický popis vybraného motorového vozu po provedení modernizace
2. Statistické metody hodnocení provozní spolehlivosti
3. Analýza dosažených parametrů provozní spolehlivosti
4. Technické a ekonomické hodnocení získaných výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Famfulík, J.: Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8
2. Podklady společnosti provádějící modernizaci vozidel
3. ČSN IEC 300-3-3 (01 0690). Analýza nákladů životního cyklu, Praha: Český normalizační institut, 1997.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

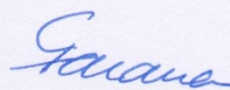
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité poklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Šperlich

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Smetanova 4
789 85 Mohelnice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠPERLICH, P. Provozně technické hodnocení kolejových vozidel vybrané řady po modernizaci: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 48 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Bakalářská práce se zabývá provozně technickým hodnocením motorového vozu 814 Regionova, jeho popisem a vyhodnocením spolehlivosti pomocí statistických metod hodnocení provozní spolehlivosti. Modernizaci vozu provedla firma Pars nova a.s. Na základě empirických dat z ročního provozu motorových vozů poskytnutých zmíněnou firmou, je vyhodnocována spolehlivost k 35 motorovým vozům 814 Regionova. Data jsou vyhodnoceny jak pro celek vozu, tak pro jeho jednotlivé části. Hlavními sledovanými bloky jsou bezporuchovost a udržitelnost.

Dosažené výsledky bezporuchovosti a udržitelnosti jsou porovnávány a pro přehlednost vynášeny do grafů a tabulek. V závěru této práce je ekonomické hodnocení dosažených výsledků.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠPERLICH, P. Operational Technical Review of Selected Range of Rail Vehicles after Modernization: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transporting, 2010, 48 s. Thesis head: Famfulík, J.

Bachelor thesis is dealing with Operational technical review of motor vehicle 814 Regionova, its description and evaluation of reliability using statistic methods for evaluation of operational reliability. Modernization was made by Pars Nova a.s. Evaluation of reliability in 35 motor vehicles 814 Regionova is based on empiric data obtained during one year operation. Obtained data are evaluated for the whole vehicle and its single parts either. The main aspects observed are fail proof and maintainability. Outcomes taken in fail proof and maintainability are compared and transferred into diagrams and tables to be as much transparent as possible. There is an economic evaluation of the results obtained presented in the end of the thesis.

Obsah

Seznam použitých značek a zkratek	1
Úvod	2
1. Stručný technický popis vybraného motorového vozu a porovnání..	3
1.1 Užití	3
1.2 Technický popis částí motorového vozu 814 Regionova	4
2. Statistické metody hodnocení provozní spolehlivost.....	6
2.1 Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000	6
2.2 Spolehlivost dle IEC 50 (191)	7
2.3 Etapy životního cyklu vozidel	8
2.4 Identifikace etap životního cyklu vozidel	8
2.5 Etapa modernizace	10
2.6 Metody stanovení provozní spolehlivosti	10
3.7 Histogram četností	13
2.8 Weibullovo rozdělení	14
3. Analýza dosažených parametrů provozní spolehlivosti	20
3.1 Vzorový výpočet pro 35 motorových vozů typu 814 – Regionova	20
3.1.1 Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese	21
3.1.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti pro Weibullovo rozdělení	23
3.2 Udržovatelnost	24
3.2.1 Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese- udržovatelnost	25
3.2.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti pro Weibullovo rozdělení	27
3.3 Bezporuchovost a udržovatelnost částí motorového vozu 814	28
3.3.1 skříň vozu	28
3.3.2 podvozek vozu	29
3.3.3 trakční pohon	30
3.3.4 nadřazené řízení a pult strojvedoucího	32
3.3.5 pomocné pohony	33

3.3.6 topení	34
4. technické a ekonomické zhodnocení získaných výsledků	35
4.1 Spolehlivostní parametry vozu 814 Regionova	35
4.2 Spolehlivostní parametry jednotlivých částí vozu 814 Regionova	35
4.2.1 Porovnání střední doby mezi poruchami	36
4.2.2 Četnost poruch jednotlivých částí	37
4.3 Porovnání středních dob údržby	38
4.4 Srovnání bezporuchovosti a udržovatelnosti	39
4.5 Ekonomické hodnocení získaných výsledků	39
4.5.1 Ustálený součinitel pohotovosti	40
5. Závěr	42
6. Seznam použité literatury	44
7. Seznam obrázků a tabulek	45
Přílohy	47

Seznam použitých značek a zkratk

OHV	(over head valve) - ventily v hlavě válce
ΔT	Odhadovaná šířka třídy
t_{\max}	Maximální hodnota doby do poruchy pro vybraný celek
t_{\min}	Minimální hodnota doby do poruchy pro vybraný celek
N	Rozsah výběru
Γ	Gamafunkce
t_0	Parametr měřítka
m	Parametr tvaru
$F(t)$	Distribuční funkce
$f(t)$	Hustota pravděpodobnosti
λ	Intenzita poruch $[h^{-1}]$
R^2	Koeficient determinace

ÚVOD

Cílem práce je provozně technické hodnocení kolejového vozidla 814 Regionova, které vzniklo modernizací motorového vozu 810 s již nevyhovujícími provozními parametry.

Modernizace je v dnešní době často slýchaným pojmem a to zejména u kolejových vozidel. Hlavním důvodem je cena modernizovaného vozidla, která je téměř o polovinu menší než – li cena vozu nového. Jestliže se rozhodneme pro modernizaci, bude to s největší pravděpodobností z ekonomického hlediska. Při dosažení normálního života modernizovaného vozu budeme očekávat, že dosáhne lepších spolehlivostních parametrů, než - li tomu bylo u vozu starého.

Tato práce se bude z větší části zabývat vyhodnocením provozní spolehlivosti modernizovaného motorového vozu 814 Regionova.

Modernizaci provedla firma Pars nova a.s., která poskytla roční poruchová data potřebná k vyhodnocení provozní spolehlivosti.

V prvním bodě práce bude stručný technický popis motorového vozu řady 814 Regionova, kde budou vypsány hlavní technické parametry. Dále bude rozdělena na jednotlivé části, které budou popsány. Jedná se o části vozu, pro které budou v další části práce vyhodnocována spolehlivost.

Pro posouzení spolehlivosti celého vozu budou použita data k 35 motorovým vozům řady 814 Regionova. Pro tento celek 35 vozů bude vyhodnocena provozní spolehlivost, která zahrnuje bezporuchovost a udržitelnost. Stejný postup hodnocení bude použit i pro jednotlivé části motorového vozu. Pro každou část bude vyhodnocena bezporuchovost a udržitelnost.

Hlavními parametry, které získáme po vyhodnocení provozní spolehlivosti budou střední doby mezi poruchami pro blok bezporuchovosti a střední doby údržby pro blok udržitelnosti. Tyto jednotlivé části mezi sebou budou porovnávány a bude tak patrné, které části dosahují nejlepších a naopak nejhorších výsledků provozní spolehlivosti.

Zajímavým ukazatelem bude také četnost jednotlivých poruch. Jinak řečeno, kolika procenty se jednotlivé části podílejí na celkovém počtu poruch.

Na závěr práce, bude v rámci ekonomického hodnocení vyjádřen ustálený součinitel pohotovosti, díky kterému bude možné porovnat například nabídky dvou konkurenčních firem a ekonomický dopad, při špatném výběru takovéto firmy. Náklady na údržbu budou rozděleny mezi jednotlivé části. Tato část práce bude spíše v teoretické rovině a to z důvodu absence cen jednotlivých dílů, které jsou drženy v tajnosti.

1 STRUČNÝ TECHNICKÝ POPIS MOTOROVÉHO VOZIDLA PO MODERNIZACI

Tato kapitola pojednává o užití motorového vozu 814 Regionova a technických parametrech. Budou zde popsány jednotlivé části, pro které bude hodnocena provozní spolehlivost. Jedná se o části nově dosazené, nebo modernizované.

1.1 Užití

Motorový vůz 814 je určen pro vnitrostátní dopravu na hlavních i vedlejších neelektrifikovaných tratích. [4]

Je určen jako náhrada za motorový vůz řady 810. Motorový vůz Regionova by měl zvýšit kulturu cestování a to zejména zvýšením komfortu pro cestující a podstatnou změnou designu. Měla by se zlepšit také ekonomika provozu a údržby a to sníženou spotřebou paliv, maziv, sníženou poruchovostí. Došlo k podstatným změnám trakčních vlastností a výkonu vozidla.



Obr č.1.0. Motorový vůz řady 814 [2]

Motorový vůz řady 814 vznikl komplexní modernizací motorového vozu 810. Jedná se o dvounápravový vůz, jedno dvojkolí je hnací a druhé je běžné. Trakční agregát je umístěn pod podlahou vozu. Vůz je rozdělen na oddíl pro cestující, který byl zvětšen, dva prostory pro nástup a kabinu strojvůdce v čelní části vozu. Z původních vozů je převzatá skříň a podvozek vozu. Obě tyto části byly upraveny. Do vozu byl dosazen nový spalovací motor, který umožňuje vozu dosahovat vyšších provozních rychlostí.

1.2 Technický popis částí motorové jednotky 814 (Regionova)

Skříň vozu

Skříň je uložena na každém podvozku tříbodově a to prostřednictvím čtyř stavitelných svislých závěsů. Tlumení hluku a vibrací mezi skříní vozu a podvozkem zabezpečují pryžové bloky. Změkčují také přenos sil mezi vozovou skříní a rámem. Podélné síly se mezi skříní a rámem vozu přenášejí přes pružná táhla s pryžovými klouby.

Bočnice jsou svařovány z lehké ocelové konstrukce. Kostru bočnice tvoří hraněné dveřní sloupky. K výrazným změnám došlo v čelní části vozu, kde původní čela byla odříznuta a na rám vozidla byla navařena nosná a ochranná konstrukce ze skříňových nosníků. Čelo je tvořeno z laminátového skeletu tloušťky 4 – 6 mm. Do tohoto čela je pak usazováno nedělené čelní sklo a příslušenství pro strojvedoucího. Zadní ploché čelo je zhotoveno z plechu, je opatřeno přechodovým můstkem, který je krytý dvěma měchy. Střecha vozu je z lehké ocelové konstrukce potažená plechem o tloušťce 1,3 mm, kde jsou zhotoveny podélné prolisy, pro světla, odvětrávání a pod.

Trakční pohon

Trakční pohon je tvořen motorem TENDOM TD 242, hydromechanickou převodovkou VOITH. Spojení hydromechanické převodovky s nápravovou převodovkou zajišťuje kloubový hřídel ML-TUNNING, spojení motoru s ložiskovou skříní pomocných pohonů zajišťuje kloubový hřídel GKN. Součástí hnacího soustrojí je upravená nápravová reverzační převodovka NKR 16 a ovládací zařízení.

Motor TENDOM je čtyřdobý přeplňovaný vodou chlazený vznětový levotočivý ležatý šestiválec s přímým vstřikováním paliva. Realizace rozvodu je OHV. Disponuje jmenovitým výkonem 242 kW při 1950 ot/min a maximálním točivým momentem 1600 Nm při 1450 ot/min.

Hydromechanická převodovka

Voith Diwa je plně automatická čtyřstupňová hydromechanická převodovka. Hydrodynamický měnič točivého momentu této převodovky je využíván při rozjezdu i brzdění. Pro první stupeň je přenos výkonu rozdělen před hydrodynamickým měničem točivého momentu diferenciální jednotkou. To způsobuje, že je část výkonu přenesena měničem a druhá část je vedena přímo na výstupní hřídel. Díky plynulému dělení je zajištěna i plynulá akcelerace bez rázů spojených s řazením.

Nápravová převodovka NKR 16

Přenos výkonu na hnací dvojkolí je zajištěn upravenou nápravovou převodovkou NKR16, která pochází z motorového vozu řady 810. Jedná se o reverzní nápravovou převodovku. Řazení je realizováno zubovou spojkou. Podle toho, ve které krajní poloze se zubová spojka nachází, je realizováno spojení jednoho z talířových kol s nápravou, čímž je řazen příslušný směr jízdy. Signalizace řazeného směru, nebo neutrálu je realizováno bezkontaktními senzory a příslušenou signalizací.

Podvozek

Motorový vůz 814 je vybaven dvěma jednonápravovými rejdovými podvozky. Hnací náprava je umístěna na straně strojvedoucího, druhá náprava je běžná. Podvozky mají jednoduché vypružení ve směru svislém a dvojte vypružení ve směru příčném a podélném.

Dvojkolí

Dvojkolí jsou nová, a to jak hnací, tak běžná. Mají zesílenou nápravu. Průměr styčných kružnic kol je 840 mm, průměr nápravy je zesílený. Náprava hnacího dvojkolí je zesílena na 150 mm, mezi sedly pro celistvá kola. Rozchod je 1435 mm. Pískováno je pouze hnací dvojkolí.

Brzdová výstroj

Brzda v podvozku je přejata z vozu řady 810. Kola jsou oboustranně brzděna jednoduchými dvojdílnými zdržemi.

Jednotka je vybavena samočinnou tlakovou brzdou soustavy DAKO DK-P, která je řízena elektrickým brzdičem DAKO BSE. Dále pak záchrannou brzdou DAKO PZ4 nebo záchrannou brzdou AK6, která je na hlavním stolku strojvedoucího. Záchranné brzdy umožní únik vzduchu z hlavního potrubí.

Vytápění, větrání a klimatizace vozu

Motorový vůz 814j e vytápěn teplovodním vytápěním. Zdrojem tepla u motorového vozu soupravy je teplo, z chladicího okruhu naftového motoru. Jestliže by okolní teplota byla nižší a vytápění z chladicího okruhu by nestačilo, používá se i teplovodní naftový agregát Hydronic 35. Tento agregát také slouží k přehřevu a temperaci. Zdrojem tepla u řídicího vozu soupravy je samostatný teplovodní naftový agregát Hadronic 35. Stanoviště strojvedoucího je vytápěno pomocí topné/chladicí jednotky RN 814/914 F.

Větrání prostoru pro cestující je podtlakové, realizované střešními větrači. Všechny prostory lze také větrat otevřením oken. Větrání stanovišť strojvedoucího je zajištěno ventilátorem klimatizační jednotky.

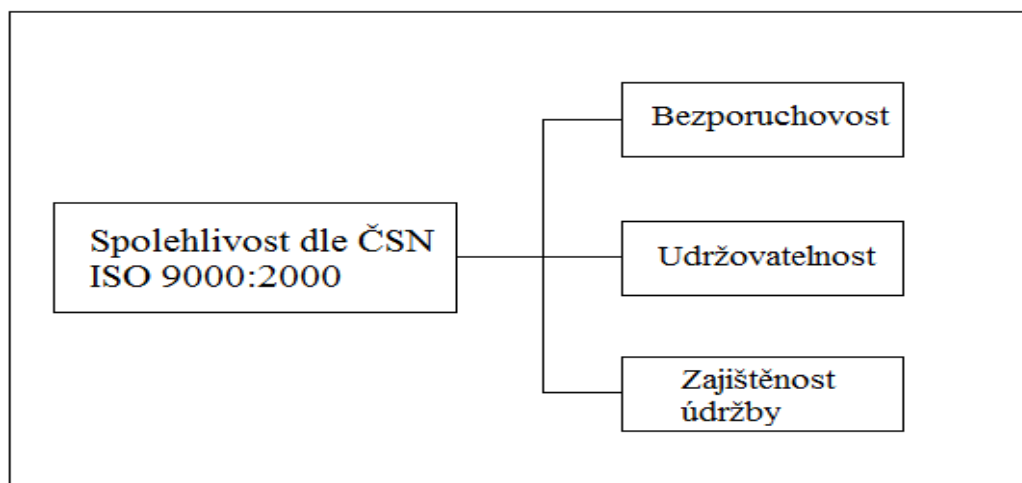
2 STATISTICKÉ METODY HODNOCENÍ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI

Tato kapitola pojednává o metodách používaných pro hodnocení provozní spolehlivosti a o teoretickém rozboru postupu řešení. [1] V teoretické části je uvedeno pouze Weibullovo rozdělení, jeho parametry a výpočty, které jsou spjaté s touto metodou.

2.1 Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000

„Spolehlivost je v této normě popsána jako souhrnný termín, používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují“.

Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 Je rozdělena na základní části – bezporuchovost, udržitelnost a zajištění údržby.

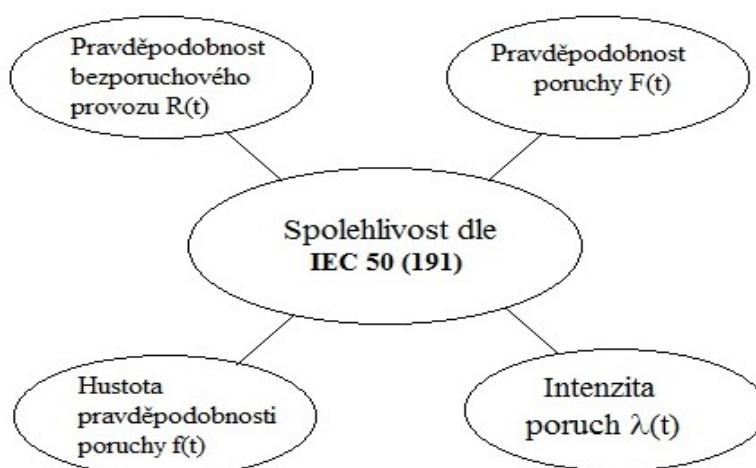


Obr. č. 2.0: Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 [Famfulík, Jan 2007]

- **bezporuchovost** stav, kdy je zkoumaný objekt schopen plnit funkce, které jsou od něj očekávány po stanovenou dobu a za daných podmínek
- **udržovatelnost** stav, kdy je zkoumaný objekt schopen za daných podmínek setrvat nebo se vrátit do stavu, ve kterém je schopen plnit funkce, které jsou požadovány.
- **zajištěnost údržby** je schopnost společnosti, která poskytuje údržbářské služby zajistit v závislosti na požadavcích v daných podmínkách prostředky pro údržbu v souladu s pojetím údržby.

2.2 Spolehlivost dle IEC 50 (191)

Spolehlivost dle IEC 50 (191) nebo-li pravděpodobnost bezporuchového provozu, který se dále dělí na dílčí části, charakteristiky viz. (obr. č. 2.1).



Obr č. 2.1: Užší pojetí spolehlivosti [Famfulík, Jan 2007]

- Porucha – ztráta schopnosti provozu soustavy nebo prvku a to buď úplná nebo částečná.
- Doba do první poruchy – doba provozu od od uvedení do použitelného stavu až do poruchy
- Doba mezi poruchami – časový interval mezi dvěma poruchami, následujícími po sobě na opravovaném objektu
- Doba údržby – časový úsek během, kterého se na objektu provádí údržbářský zásah včetně zpoždění.
- Údržba – souhrn jednotlivých technologických postupů a činností, kdy se s jejich využitím provádí obnova objektu.
- Preventivní údržba – údržba podléhající preventivním plánům, plánům údržby za účelem snížení pravděpodobnosti poruchy, nebo omezení funkčnosti objektu.

- Údržba po poruše – údržba ve stavu poruchy, zaměřená na znovuvvedení objektu do stavu, za kterého je schopen plnit danou funkci.
- Oprava – manuální práce prováděná ve stavu po poruše.

2.3 Etapy životního cyklu vozidel

Výrobky procházejí různými etapami života a je důležité zjistit, ve které etapě se výrobek právě nachází. Abychom mohli toto zjistit používáme pro stanovení etap životního cyklu výrobku exaktní metody. Tyto metody jsou založeny na sledování vhodných jakostních parametrů. Jedním z nich je například intenzita poruch. Nesprávných vyhodnocením může dojít k předčasnému, či opožděnému vyřazení, což má vždy za následek ekonomické a hmotné ztráty.

1. Etapa koncepce a stanovení požadavků.
2. Etapa návrhu vývoje.
3. Etapa výroby
4. Etapa uvedení do provozu.
5. Etapa provozu.
6. Etapa likvidace.

Je důležité zabránit tomu, aby vznikaly vysoké náklady spojené s nespolehlivostí vozidla a jejich spolehlivost se vyhodnocovala až po zavedení do provozu. Proto vzniká snaha o to, aby byly tyto problémy týkající bezporuchovosti a bezpečnosti odhaleny již ve fázi návrhu a vývoje vozidla.

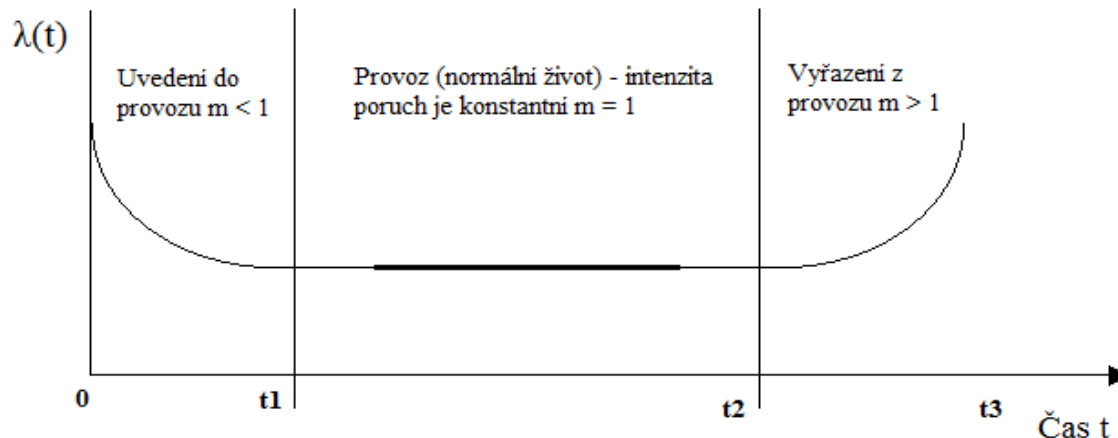
V prvních třech etapách vníká tzv. inherentní, nebo-li vložená spolehlivost, kde se snažíme o to aby byla na nejvyšší možné úrovni.

Čtvrtá a pátá etapa využívá inherentní spolehlivosti.

2.4 Identifikace etap životního cyklu vozidel

Aby bylo možné identifikovat etapu životního cyklu vozidla, je nutné vycházet z faktu, že intenzita poruch nebo-li počet poruch za jednotku času, se mění v závislosti na využívání vozidla. Toto využívání je nutné popsat vhodným parametrem, například kilometrickým průběhem nebo dobou provozu vozidla.

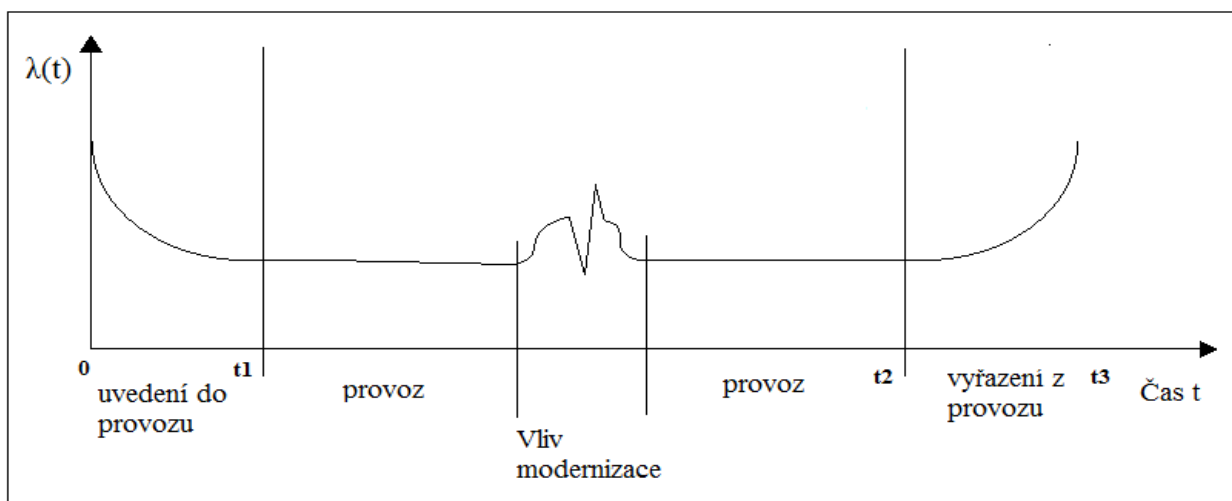
Známým vyjádřením fyzického života vozidla je vanová křivka, kterou lze rozdělit na tři základní intervaly.



Obr. č.2.2: Vanová křivka [Famfulík, Jan 2007]

- **interval $[0, t_1]$** – je fáze uvedení do provozu. Intenzita poruch v čase klesá, což vede ke zlepšování spolehlivosti vozidla. V této počáteční fázi se projevují konstrukční a technické nedostatky, nejedná li se o výrobu sériovou.
- **interval $[t_1, t_2]$** – jedná se o fázi normálního života vozidla, kdy se intenzita poruch ustálí a je téměř konstantní. Při správném uplatnění vhodného systému údržby lze dosáhnout úspor.
- **Interval $[t_2, t_3]$** – je období dožívání vozidla a následné likvidace. V této etapě začne intenzita poruch opět stoupat z důvodu opotřebení vozidla, které začne být již ekonomicky neúnosné. Dochází také k fyzickému a morálnímu zastarání a následuje likvidace vozidla.

V případě modernizace se spíše hodí vyobrazení vanové křivky viz obr. Č. 2.3. , Kde je do průběhu intenzity poruch zahrnut i vliv hlavní opravy – modernizace kolejového vozidla. Vlivem rostoucího kilometrického proběhu roste opotřebení a celek, nebo jeho díl dojde do stavu, kdy je nutné jej opravit, odstranit následky opotřebení a prakticky jej uvést do stavu výkresových rozměrů. Toto má často v důsledku krátkodobé zvýšení intenzity poruch.



Obr. č. 2.3: průběh intenzity poruch a vliv modernizace [Famfulík, Jan 2007]

2.5 Etapa modernizace

Při opotřebení dochází k opotřebení různých částí vozidla. Je zřejmé, že například rám vozidla bude podléhat opotřebení podstatně pomaleji, než-li spalovací motor. Z toho vyplývá, že náklady na údržbu rámu vozidla budou podstatně menší než náklady na údržbu a odstranění opotřebení spalovacího motoru. Vezmeme-li v úvahu dlouhou životnost vozidla, nabízí se možnost modernizace a ne opakované vkládání finančních prostředků do oprav vozidla. Zároveň je nespornou výhodou modernizace zlepšení vlastností modernizovaného vozidla v oblasti snížení nákladů na údržbu. Neopomenutelnou částí je také zvýšení kultury cestování zlepšením interiéru vozidla a jízdních vlastností. Před samotnou modernizací je nutné z hlediska spolehlivosti:

- Zjistit stávající spolehlivostní charakteristiky celků a částí
- Zjistit přínosy modernizace a vložené náklady
- Nastavit minimální hodnoty parametrů spolehlivosti pro nové části
- Vypracovat nový systém údržby a oprav, dle nových spolehlivostních parametrů a vyhodnotit dopady na logistiku.

2.6 Metody stanovení provozní spolehlivosti

Abychom byli schopni stanovit spolehlivost vozidla, je nutné provádět zkoušky spolehlivosti, při nichž se zjišťují ukazatele spolehlivosti. V praxi je aplikace těchto zkoušek zvláště u kolejových vozidel prakticky nemyslitelná. Doba zkoušení by byla příliš dlouhá s ohledem na

životnost vozidla, tím by se zkouška stávala i velice nákladná, nehledě na fakt, že by došlo ke znehodnocení kolejového vozidla – ukončení zkoušky.

Proto používáme metody stanovení spolehlivosti z údajů o provozu vozidel. Aby však bylo možné tyto metody používat, je zde předpoklad, že existují komplexní záznamy o poruchách, době provozu, době údržby a o jejich příčinách.

Náhodný jev

„Zákonitost každého fyzikálního procesu je funkcí komplexu podmínek, při kterých pokus probíhá [Holub, 1992]. Ve spolehlivosti budeme pod tímto pojmem rozumět provedení technického experimentu, jehož výsledek označíme jako jev (vznik poruchy, ukončení opravy, apod.)“.

Existují čtyři druhy jevů:

- **Jisté** – Je jev, který nastane vždy.
- **Nemožné** – Je jev, který nenastane nikdy.
- **Náhodné** – Je závislý na náhodě. Při opakování jevu a stejných podmínkách jev nastat může, ale nemusí. Nastává s pravděpodobností konstantní nebo proměnnou.
- **Chaotické** – Neřadí se mezi tři jevy předešlé.

Pravděpodobnost nastoupení jednotlivých jevů:

Jisté..... $P(A) = 1$

Nemožné..... $P(A) = 0$

Náhodné..... $0 \leq P(A) \leq 1$

Chaotické.....Nelze předem stanovit.

Abychom byli schopni číselně vyjádřit ukazatele spolehlivosti vozidel, je nutné mít k posouzení vhodné veličiny, například kilometrický proběh, dobu mezi poruchami, dobu trvání opravy, počty cyklů do poškození zkoušeného předmětu a podobně.

K popisu můžeme použít známé pojmy vycházející z teorie pravděpodobnosti a statistiky, kterými jsou: $F(t)$ – Distribuční funkce náhodné veličiny t , $f(t)$ – hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny t , $E(t)$ – střední hodnota náhodné veličiny t , $P(A)$ – pravděpodobnost jevu A . Jelikož je v této práci použito Weibullovo dvouparametrické rozdělení, bude dále řešena pouze metoda W_2P a výpočty související s touto metodou.

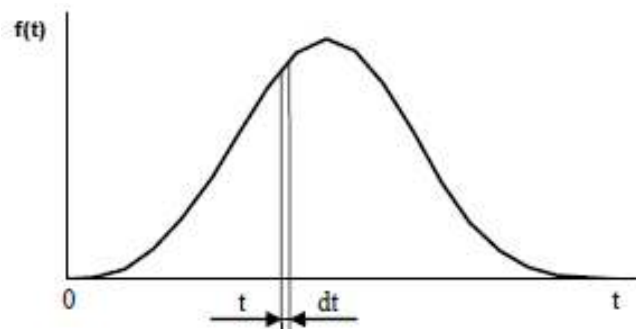
Definice náhodné veličiny

Hustota pravděpodobnosti

Její definice:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt)$$

Je to funkce, vyjadřující pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt .



Obr. 2.4: Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny [Famfulík, Jan 2007]

Hustota pravděpodobnosti je nezáporná $f(t) \geq 0$ a její hodnota pod křivkou je rovna jedné.

Distribuční funkce:

Používá se jako prostředek pro popis zákona rozdělení. Je definována takto:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt$$

Tato funkce je nezáporná a nabývá hodnot z intervalu $<0;1>$ jedná se neklesající funkci, která je spojitá zleva.

Intenzita poruch náhodné veličiny

Je definována jako podmíněná pravděpodobnost, že jev nastane za nekonečně malý okamžik dt za podmínky, že do okamžiku t jev nenastane.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [\text{h}^{-1}]$$

Střední hodnota

Střední doba do poruchy

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad [\text{h}]$$

Bezporuchovost

Pravděpodobnost bezporuchového stavu, která se označuje jako $R(t)$ a je dána vztahem:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t)$$

$$F(t) + R(t) = 1$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

2.7 Histogram četností

Jako sloupcový graf zobrazuje absolutní nebo relativní četnosti sledované veličiny, například poruch celků, nebo jeho částí. Výška sloupů odpovídá četnosti, vodorovná osa je ve stejných jednotkách, například v hodinách. Každý sloupec je tak široký, jako je široká třída zkoumané veličiny.

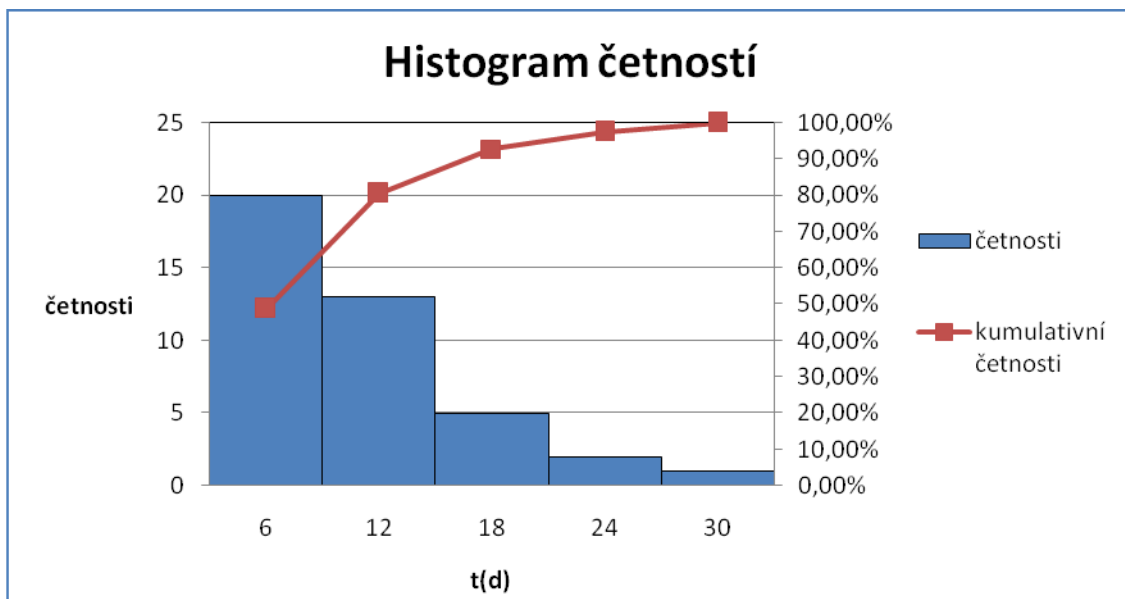
Díky tvaru histogramu četností můžeme určit, jaké rozdělení náhodné veličiny použijeme.

Například Weibullovo rozdělení, exponenciální rozdělení, Gaussovo nebo – li normální rozdělení. Konstrukce histogramu četností se řídí následujícími pravidly:

- 1) volíme konstantní šířku třídy – sloupec odpovídá šířce třídy
- 2) stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách – např. v hodinách
- 3) Jednotlivé sloupce v histogramu jsou vždy svislé a jejich výška promítnutá na svislou osu udává absolutní nebo relativní četnost.
- 4) histogram četností musí mít minimálně 3 třídy a maximálně 12. Výjimečně 15 tříd.
- 5) v histogramu četností se nesmí objevit dva vrcholy

Tabulka č.1.0 Data pro sestavení histogramu

číslo třídy	Třídy	Četnost	Kumulativní četnost
1	6	20	48,78%
2	12	13	80,49%
3	18	5	92,68%
4	24	2	97,56%
5	30	1	100,00%



Obr. č.2.5 – Graf histogramu četností

Výpočet šířky třídy

Pro výpočet odhadu šířky třídy použijeme vztah (1) :

$$\Delta = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 1,3 * \log(N)} \quad (\text{platí pro: min. 5 tříd, max. 15 tříd.}) \quad [h] \quad (1)$$

kde:

ΔT šířka třídy

t_{\max}maximální hodnota doby do poruchy

t_{\min}minimální hodnota doby do poruchy

Ncelkový počet poruch

Jestliže má histogram po seřazení více než jeden vrchol, jen nutné vhodně šířku třídy přepočítat. Také nastává nutnost přepočítání šířky třídy, jestliže se vyskytne odlehlé měření, které odstraníme a tím pádem se zmenší počet poruch.

2.8 Weibullovo rozdělení

Při modelování náhodné veličiny se nejčastěji používá Weibullovo rozdělení a to zejména pro jeho variabilitu. Díky proměnnému parametru tvaru nahrazuje exponenciální rozdělení a aproximuje normální rozdělení. Proto je dále v práci použito pro výpočty Weibullovo rozdělení.

Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese

Parametry:

$t(h)$doba do poruchy celku – seřadil jsem vzestupně

$\ln(t)$logaritmus doby do poruchy

n_ipořadové číslo poruchy

$F_i(m)$odhad mediánového pořadí

Výpočet odhadu mediánového pořadí:

$$F_i(m) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (2)$$

kde:

ipořadové číslo poruchy

Ncelkový počet poruch

Výpočet hodnoty y :

$$y = \ln(-\ln(1-F_i(m))) \quad (3)$$

kde:

$F_i(m)$odhad mediánového pořadí

Tabulka č.1.1: Část tabulky s parametry lineární regrese

t [d]	n_i	$F_i(m)$	y	$x=\ln(t)$
1	1	0,016509	-4,09551	0
1	2	0,040094	-3,19613	0
1	3	0,063679	-2,72118	0
1	4	0,087264	-2,39351	0
1	5	0,110849	-2,14142	0
1	6	0,134434	-1,93536	0
2	7	0,158019	-1,76027	0,693147
3	8	0,181604	-1,6074	1,098612
3	9	0,205189	-1,4712	1,098612
3	10	0,228774	-1,34795	1,098612
3	11	0,252358	-1,23501	1,098612
3	12	0,275943	-1,13046	1,098612
4	13	0,299528	-1,03282	1,386294
5	14	0,323113	-0,94096	1,609438
5	15	0,346698	-0,85398	1,609438

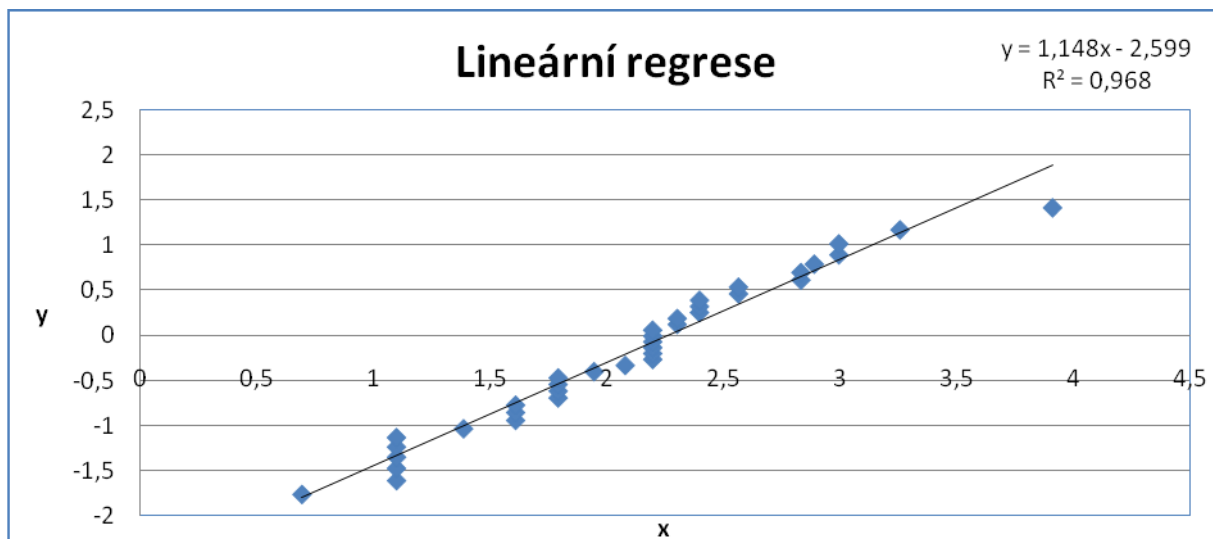
Z těchto parametrů jsem sestavil graf LR

kde:

$$\ln(t) = \text{osa X} \quad (4)$$

y dle vzorce (3) = osa Y

Z hodnot x a y byl sestaven bodový graf odhadu parametru Weibullova rozdělení.



Obr. č. 2.6: Lineární regrese

Rovnice regrese:

po sestrojení grafu LR dostaneme parametry:

$$y = 1,148x - 2,599$$

kde:

$$m = y$$

$$q = (-2,599)$$

Z rovnice regrese získáme dva parametry. První z nich y odpovídá parametru tvaru, který je dále důležitý pro výpočet střední doby do poruchy. Druhým je x , což odpovídá parametru q . Dále je nutné dopočítat parametr měřítka t_0 a střední dobu do poruchy T_s viz. následující postup.

parametr měřítka t_0 :

$$t_0 = e^{-q/m} \quad (5)$$

Kde:

t_0parametr měřítka

mparametr tvaru

qparametr získaný z rovnice regrese

Střední hodnota:

Střední hodnota, nebo-li střední doba do poruchy je střední hodnota náhodné veličiny t . Výhodou je jednoduché vyjádření pouze jedním údajem. V této práci budou střední hodnoty náhodné veličiny t použity pro vyjádření bezporuchovosti a udržitelnosti.

$$T_s = t_0 * \Gamma(1 + 1/m) [h] \quad (6)$$

Kde:

T_sstřední hodnota

t_0parametr měřítka

Γneúplná Eulerova gama funkce

mparametr tvaru

Koeficient determinace R^2 :

Hodnota koeficientu determinace R^2 je součástí rovnice lineární regrese. Tato hodnota nesmí u Weibullova rozdělení klesnout pod číslo 0,9. Jestliže se tak stane, je zvolená metoda pro vyhodnocení nevyhovující. Aby bylo možné zobrazit tento koeficient, je nutné v aplikaci MS Excel proložit vzniklé body grafu lineární regrese spojnicí trendu.

Hustota pravděpodobnosti poruch $f(t)$:

Hustotu pravděpodobnosti jako funkce, vyjadřuje pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt . Hustota pravděpodobnosti se vypočítá dle následujícího vzorce.

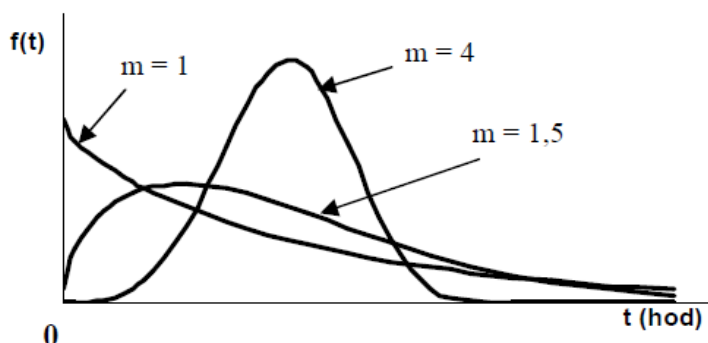
$$f(t) = \frac{n}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0} \right)^m} \quad (7)$$

Kde:

mparametr tvaru

t_0parametr měřítka

$t(h)$daná doba do poruchy



Obr. č. 2.7: Weibullovo rozdělení pro $f(t)$ [Famfulík, Jan 2007]

Průběhy hustoty pravděpodobnosti $f(t)$ s proměnným parametrem m . Parametr t_0 je stejný.

Distribuční funkce $F(t)$:

Je pravděpodobnost, že náhodná veličina t nabude hodnoty menší, nebo rovné, než je zadaná hodnota t .

Parametr pro vyjádření bezporuchovosti, který ve spolehlivosti vyjadřuje pravděpodobnost poruchy.

Vztah pro výpočet distribuční funkce:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{t_0} \right)^m \right]$$

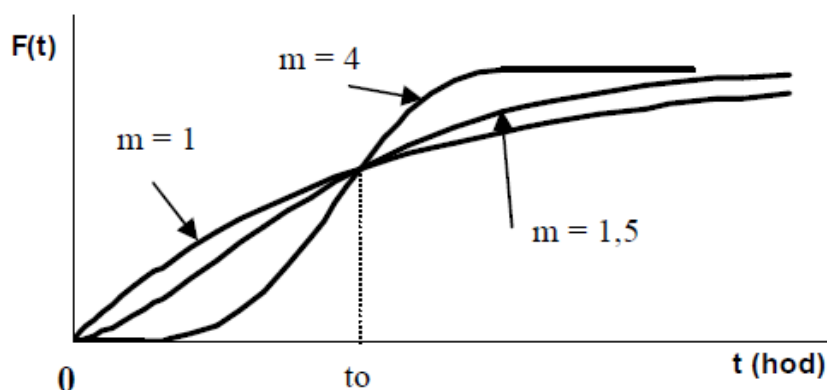
Kde:

(8)

m parametr tvaru

t_0 parametr měřítka

$t(h)$ daná doba do poruchy



Obr.č. 2.8: Weibulovo rozdělení – parametry tvaru pro $F(t)$ [Famfulík, Jan 2007]

Bezporuchovost – pravděpodobnost bezporuchového stavu

Je důležitým ukazatelem spolehlivosti. Vychází z distribuční funkce $F(t)$ a je jejím doplňkem do jedné. Bezporuchovost je vyložena jako pravděpodobnost bezporuchového stavu v čase t .

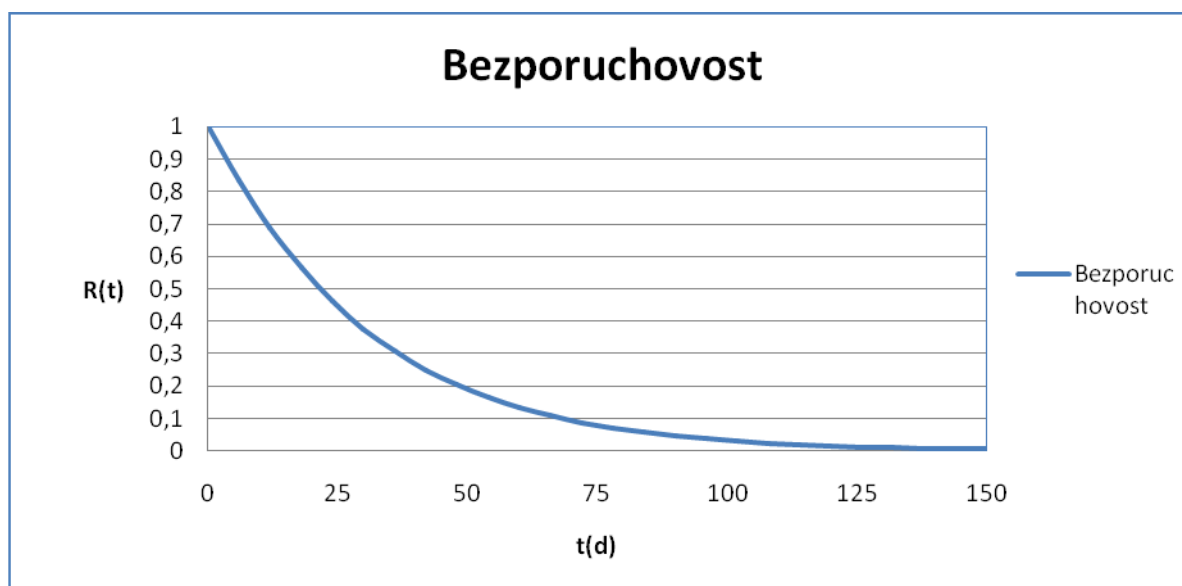
$$R(t) = 1 - F(t)$$

(9)

Kde:

$R(t)$ bezporuchovost

$F(t)$ pravděpodobnost poruchy



Obr. č.2.9: Průběh bezporuchovosti

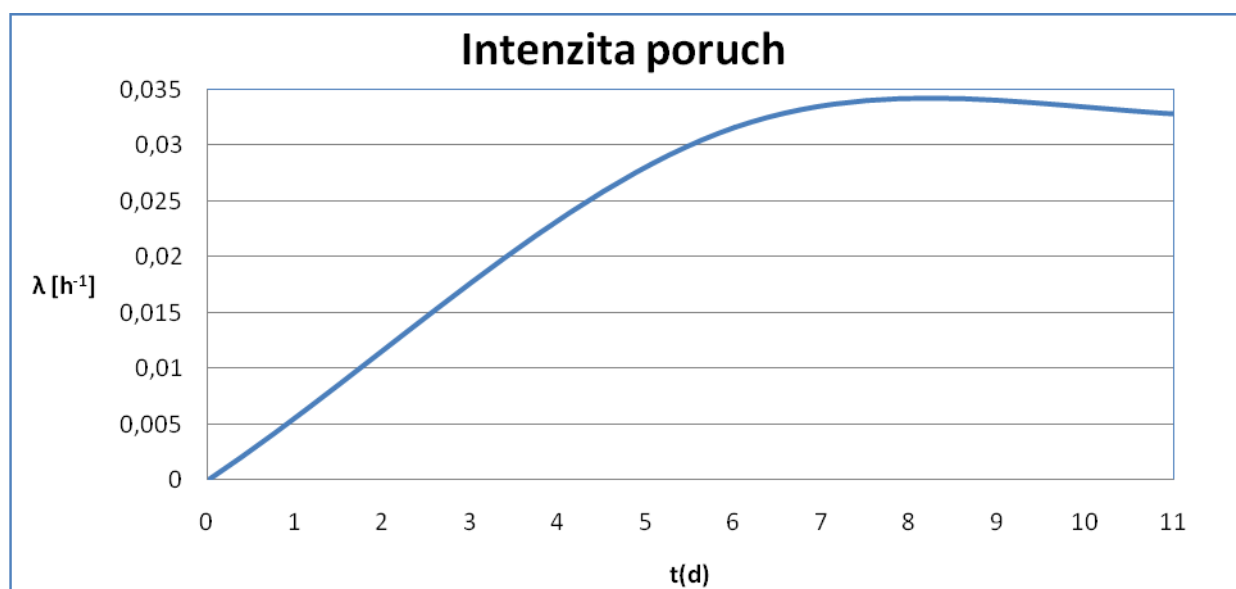
Intenzita poruch

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad [h^{-1}] \quad (10)$$

kde:

$f(t)$ hustota pravděpodobnosti

$R(t)$ bezporuchovost



Obr. č.2.10 Intenzita poruch

3 ANALÝZA DOSAŽENÝCH PARAMETRŮ PROVOZNÍ SPOLEHLIVOSTI

Podkladem pro výpočty jsou roční poruchová data, odkud bylo vybráno náhodných 35 motorových vozů typu 814 – Regionova. Vyhodnocením bylo dosaženo výsledků provozní spolehlivosti pro celek 35 motorových jednotek. Pro tyto vozy byla také vypracována bezporuchovost a udržitelnost.

Stejný postup byl aplikován na 6 částí daného motorového vozu. Pro vyhodnocení bezporuchovosti byla jako parametr použita střední doba mezi poruchami ve dnech. Pro udržitelnost to byla střední doba údržby uváděná v hodinách.

3.1 Vzorový výpočet pro 35 motorových vozů typu 814 – Regionova

Udržitelnost

Po seřazení poruchových dat byla data seřazena vzestupně od nejmenší po největší. Bylo odstraněno jedno odlehle měření a vypočítána šířka třídy viz níže.

Pro výpočet šířky třídy použijeme vztah (1):

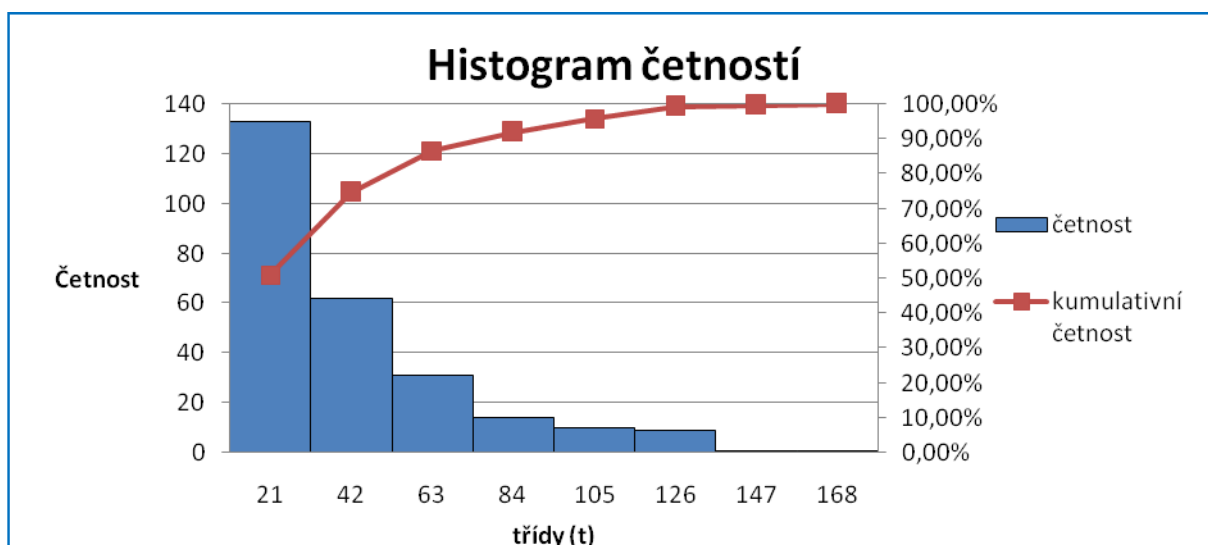
$$\Delta = \frac{149 -}{1 + 1,3 * \log(261)} = \underline{\underline{6,49d}}$$

Konečná šířka třídy byla vhodně zvolena na 21 dní, při menší zvolené šířce třídy docházelo ke vzniku více vrcholů v histogramu četností, což je nepřípustné.

Pomocí aplikace MS Excel byla sestavena tabulka pro sestavení Histogramu četností a sestaven histogram četností.

Tabulka č.2.0: Histogram četností pro 35 motorových jednotek typu 814

č.třídy	Třídy	Četnost	Kumulativní četnost
1	21	133	50,96%
2	42	62	74,71%
3	63	31	86,59%
4	84	14	91,95%
5	105	10	95,79%
6	126	9	99,23%
7	147	1	99,62%
8	168	1	100,00%



Obr. č.3.1: Histogram četností pro 35 motorových jednotek řady 814

Z histogramu je patrné, že se jedná o exponenciální rozdělení. Pro výpočet však bylo použito univerzální Weibullovo rozdělení, které exponenciální rozdělení nahrazuje.

3.1.1 Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese

Pro odhad parametru Weibullova rozdělení byla sestavena tabulka s výpočty, aby bylo možné sestavit graf lineární regrese.

Tabulka č.3.0: výpočty pro sestavení grafu LR

t [d]	n_i	$F_i(m)$	y	$x=\ln(t)$
1	1	0,002678	-5,92139	0
1	2	0,006503	-5,03216	0
1	3	0,010329	-4,56761	0
1	4	0,014155	-4,2506	0
1	5	0,01798	-4,00943	0
1	6	0,021806	-3,81458	0
1	7	0,025631	-3,65099	0
2	8	0,029457	-3,50992	0,693147
2	9	0,033282	-3,38585	0,693147
2	10	0,037108	-3,27508	0,693147
2	11	0,040933	-3,17498	0,693147
2	12	0,044759	-3,08365	0,693147
2	13	0,048585	-2,99965	0,693147
2	14	0,05241	-2,92186	0,693147
2	15	0,056236	-2,8494	0,693147

Vzorové výpočty:

V tabulce pro výpočet hodnot bylo nutné vypočítat tři hodnoty:

Odhad mediánového pořadí, který se vypočítá dle vzorce (2) :

$$Fi(m) = \frac{1-0,3}{261+0,4} = \underline{0,002678}$$

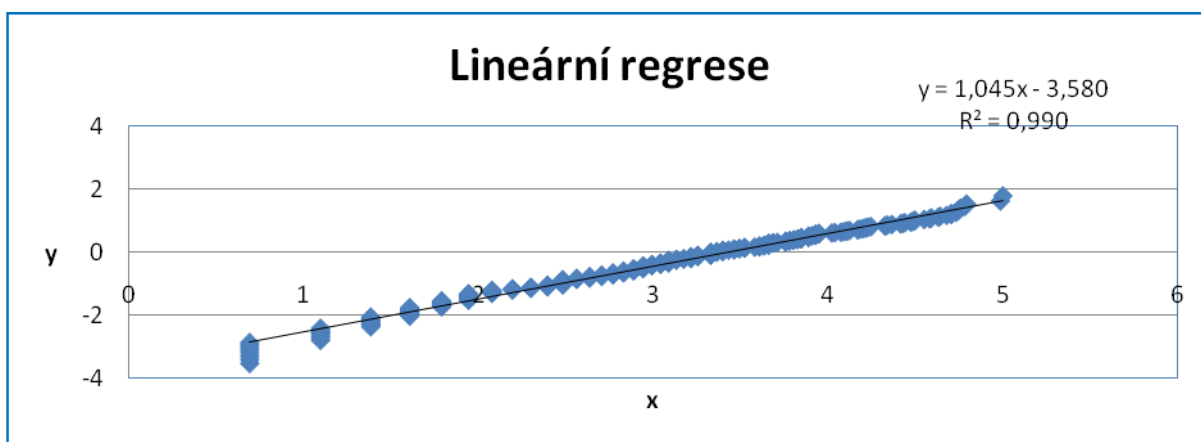
Hodnota y se vypočítá dle vzorce (3):

$$y = \ln(-\ln(1-0,002678)) = \underline{-5,92139}$$

Hodnota x se vypočítá dle vzorce (4):

$$x = \ln(2) = \underline{0,693147}$$

Pomocí vypočtených hodnot x a y byl sestaven graf “XY bodový”, přidána spojnice trendu a zobrazeny parametry y a x. Byla provedena kontrola koeficientu determinace, zda-li jeho hodnota neklesla pod hodnotu 0,9.



Obr. č. 3.2: Lineární regrese

Parametry:

Tabulka č.4.0: parametry regrese

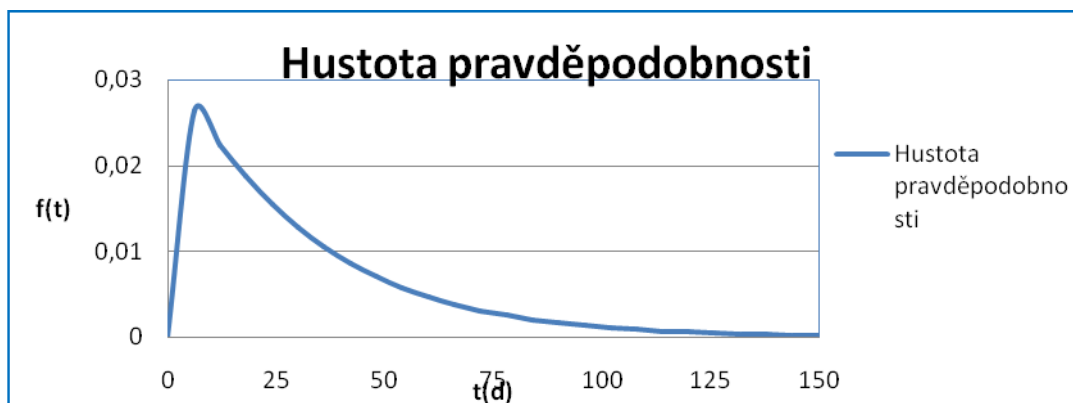
m=	1,045
q=	-3,58
t ₀ =	30,74838
T _s =	30,21186 (d)

V tabulce č.4.0: byly dopočítány hodnoty t₀ a T_s dle vzorců (5) a (6).

3.1.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti pro Weibullovo rozdělení:

Hustota pravděpodobnosti

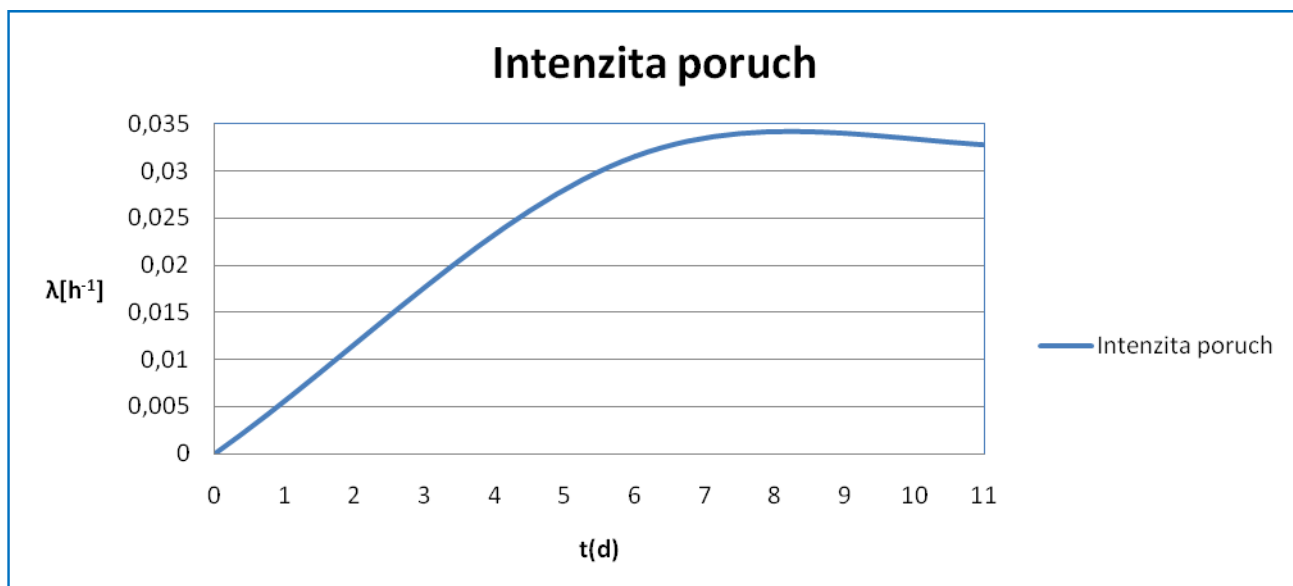
Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ se vypočítá dle vzorce (7). K usnadnění a výpočtům, bylo použito programu MS Excel a jeho funkce “Weibull“, typ = logická 0.



Obr. č. 3.3: Hustota pravděpodobnosti pro 35 motorových jednotek 814

Intenzita poruch

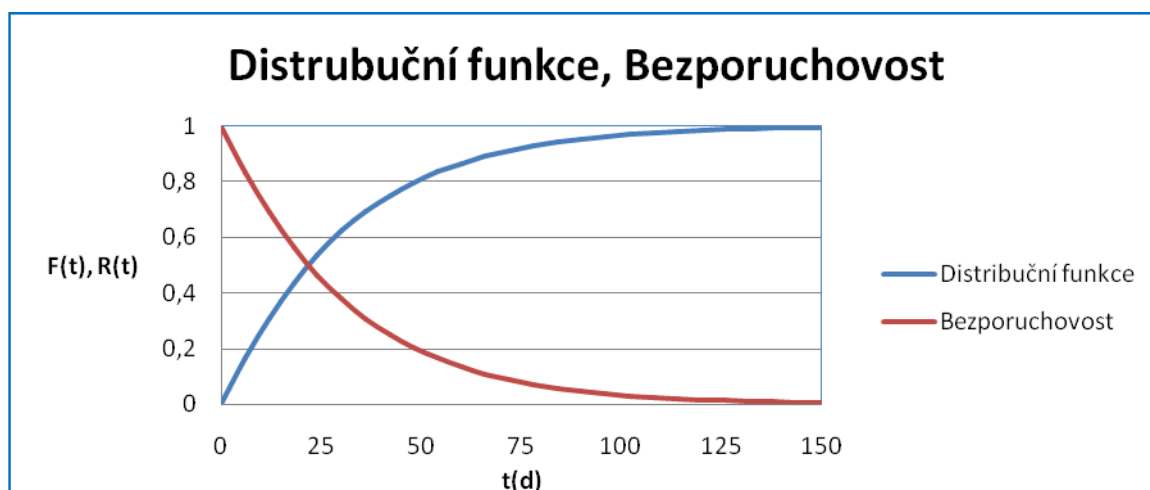
Intenzita poruch λ se vypočítá dle vzorce (10), je tedy podílem hustoty pravděpodobnosti $f(t)$ a bezporuchovosti $R(t)$.



Obr. č. 3.4: Průběh intenzity poruch pro 35 motorových jednotek 814

Distribuční funkce, Bezporuchovost

Distribuční funkce se vypočte dle vzorce (8) – Pro výpočet byl použit program MS Excel a jeho funkce “Weibull“, typ = logická 1. a její doplněk do jedné – bezporuchovost dle vzorce (9).



Obr. č. 3.5: Průběh Distribuční funkce a bezporuchovosti pro 35 motor. jednotek 814

3.2 Udržovatelnost

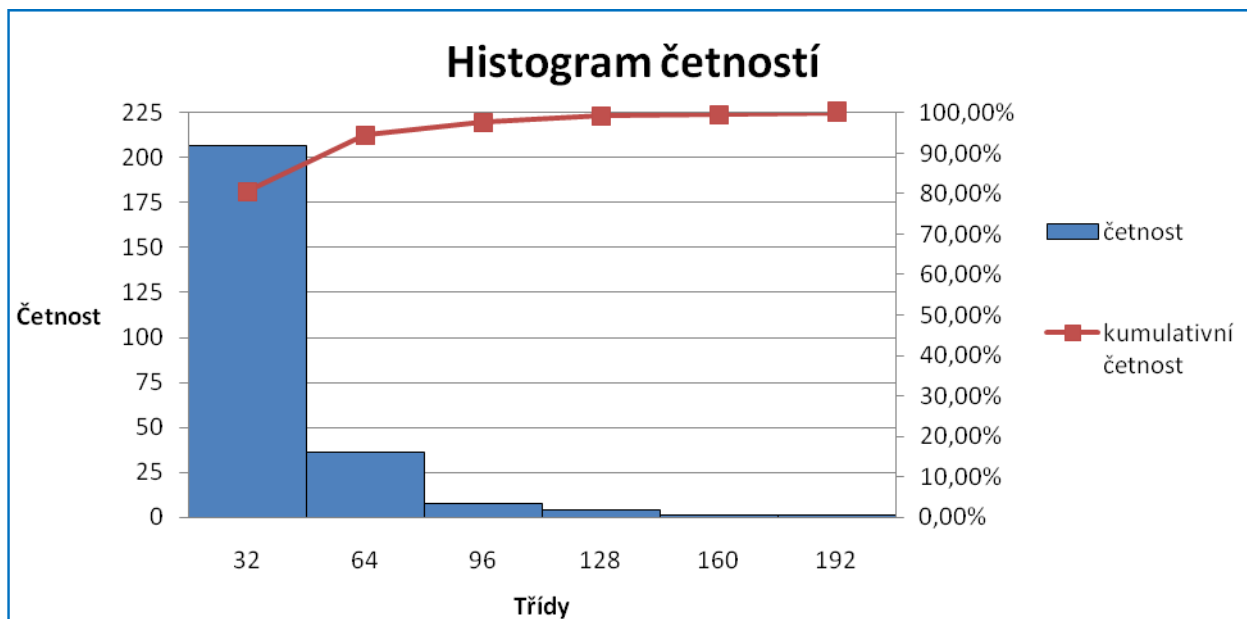
Dále byla vyhodnocena udržovatelnost pro 35 motorových jednotek typu 814 Regionova. Byly odečítány hodiny prostoje jednotky v údržbě v hodinách. Data byla seříděna vzestupně od nejmenšího údaje. Odstranilo se odlehlé měření, nebo – li hodnota výrazně odchýlená od ostatních měření a vypočítala se šířka třídy dle vzorce (1).

$$\Delta = \frac{192 -}{1 + 1,3 * \log(259)} = \underline{\underline{1,3hod}}$$

Konečná šířka třídy pro udržovatelnost byla zvolena na 32 hodin.

Tabulka č.5.0: Data pro sestavení histogramu četností

č.třídy	Třídy	Četnost	Kumulativní četnost
1	32	207	80,54%
2	64	36	94,55%
3	96	8	97,67%
4	128	4	99,22%
5	160	1	99,61%
6	192	1	100,00%



Obr. č. 3.6: Histogram četností pro 35 motorových jednotek řady 814 - udržovatelnost

I v případě udržovatelnosti je z histogramu četností patrné, že se jedná o exponenciální rozdělení. Kvůli univerzálnosti bylo použito rozdělení Weibullovo, které exponenciální rozdělení “nahrazuje”.

3.2.1 Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese - udržovatelnost

Byla sestavena tabulka s výpočty, aby bylo možné zkonstruovat graf lineární regrese.

Tabulka č.6.0: část výpočtů pro sestavení grafu LR - udržovatelnost

[h]	n_i	$F_{i(m)}$	y	$x=\ln(t)$
1	1	0,002699	-5,9137	0
1	2	0,006554	-5,02446	0
1	3	0,010409	-4,55989	0
2	4	0,014264	-4,24286	0,693147
2	5	0,018119	-4,00168	0,693147
2	6	0,021974	-3,80682	0,693147
2	7	0,025829	-3,64321	0,693147
2	8	0,029684	-3,50212	0,693147
2	9	0,033539	-3,37804	0,693147
2	10	0,037394	-3,26725	0,693147
2	11	0,041249	-3,16714	0,693147
2	12	0,045104	-3,07579	0,693147
2	13	0,048959	-2,99178	0,693147
2	14	0,052814	-2,91397	0,693147
2	15	0,056669	-2,8415	0,693147

Vzorové výpočty:

V tabulce pro výpočet hodnot bylo nutné vypočítat tři následující hodnoty, výpočet je pro 4. řádek tabulky.

Odhad mediánového pořadí, které se vypočítá dle vzorce (2):

$$Fi(m) = \frac{4-0,3}{259+0,4} = \underline{\underline{0,014264}}$$

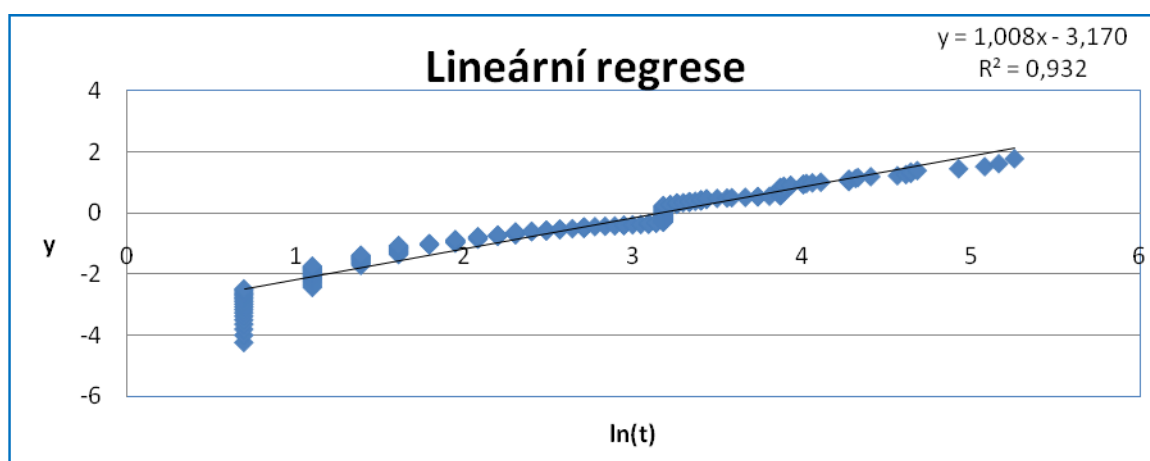
Hodnota y vypočítaná dle vzorce (3):

$$y = \ln(-\ln(1-0,014264)) = \underline{\underline{-4,24286}}$$

Hodnota x vypočítaná dle vzorce (4):

$$x = \ln(2) = \underline{\underline{0,693147}}$$

Pomocí vypočtených hodnot x a y byl sestaven graf “XY bodový”, přidána spojnice trendu a zobrazeny parametry y a x.



Obr. č. 3.7: Lineární regrese – udržovatelnost

Parametry pro udržovatelnost:

Tabulka č.7.0: parametry regrese

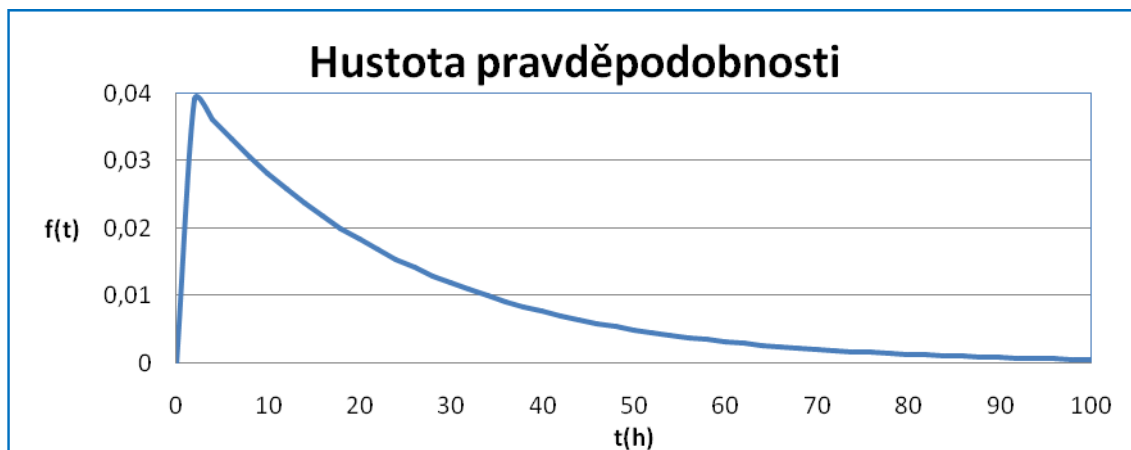
m=	1,008
q=	3,17
to=	23,21599
Ts=	23,13869 hod

V tabulce č.7.0: byly dopočítány hodnoty t_0 a T_s dle vzorců (5) a (6).

3.2.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti pro Weibullovo rozdělení:

Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost

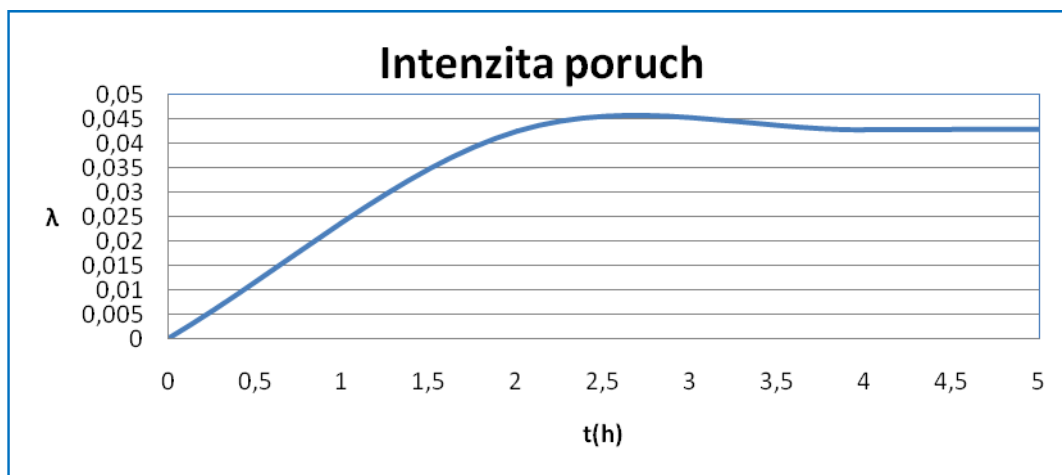
Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ se vypočítá dle vzorce (7). K usnadnění a výpočtům, bylo použito programu MS Excel a jeho funkce “Weibull“, typ = logická 0.



Obr. č. 3.8: Hustota pravděpodobnosti - udržovatelnost pro 35 motorových jednotek 814

Intenzita poruch

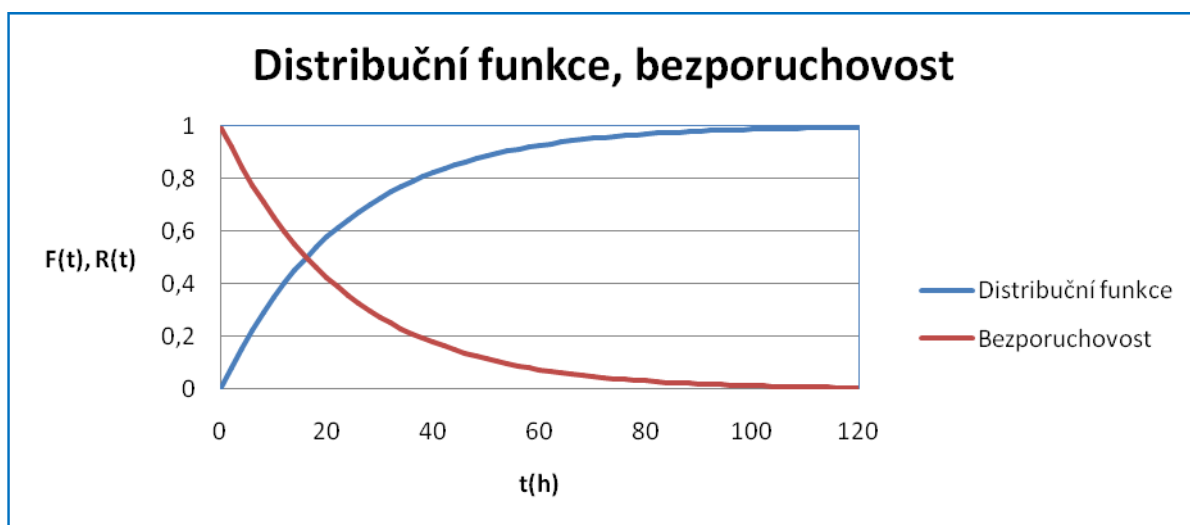
Intenzita poruch λ pro udržovatelnost se vypočítá dle vzorce (10), je tedy podílem hustoty pravděpodobnosti $f(t)$ a bezporuchovosti $R(t)$.



Obr. č. 3.9: Průběh intenzity poruch pro 35 motorových jednotek 814

Distribuční funkce, Bezporuchovost

Distribuční funkce se vypočte dle vzorce (8) – Pro výpočet byl použit program MS Excel a jeho funkce “Weibull“, typ = logická 1. a její doplněk do jedné – bezporuchovost dle vzorce (9).



Obr. č. 3.10: Průběh Distribuční funkce a bezporuchovosti pro udržitelnost k 35 motorovým jednotkám 814

3.3 Bezporuchovost a udržitelnost částí motorového vozu 814

V této části práce bude řešena spolehlivost jednotlivých částí kolejového vozidla. Byly řešeny pouze ty části, ke kterým byl dostatek dat z provozu a z údržby. Těchto částí bylo šest a jsou to části: Skříň vozidla, podvozek, trakční pohon, nadřazené řízení a pult, pomocné pohony a topení.

3.3.1 SKŘÍŇ VOZU

U skříně vozidla byly posuzovány její základní části dle seznamu, který zpracoval Pars nova a.s. Mezi vyhodnocené poruchy jsou zahrnuty jak malé, tak velké poruchy. Okna, Dveře a části dveří, písečníky, wc, tlumiče, nárazníky a další části. Dále pak vyhodnocen prostoje v údržbě způsobené poruchou této části, nebo-li je vyhodnocena udržitelnost.

BEZPORUCHOVOST – SKŘÍŇ VOZU

Posuzovaných poruch celkem:

$$N = 49$$

Střední doba mezi poruchami:

$$T_s = 21,35 [d]$$

Hustota pravděpodobnosti $f(t)$ se vypočítá dle vzorce (7). K usnadnění a výpočtům, bylo použito programu MS Excel a jeho funkce "Weibull", typ = logická 0.



Obr. č. 3.11: Hustota pravděpodobnosti – skříň vozidla

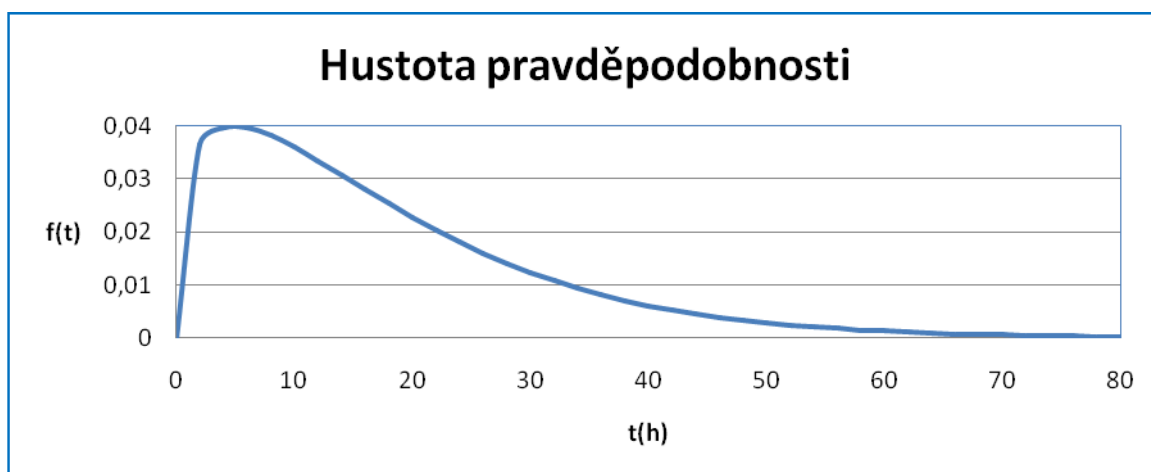
UDRŽOVATELNOST – SKŘÍŇ VOZU

Prostojů v údržbě celkem:

$N = 41$

Střední doba údržby:

$T_s = 17,43$ hod



Obr. č. 3.12: Hustota pravděpodobnosti – skříň vozidla

3.3.2 PODVOZEK VOZU

U podvozku byly vyhodnocovány základní části: Rám podvozku, dvojkolí, náprava hnacího dvojkolí, nápravová ložiska, vypružení a další. Doby do poruchy a čas strávený v údržbě byl vyhodnocován z dat poskytnutých společností Pars nova a.s.

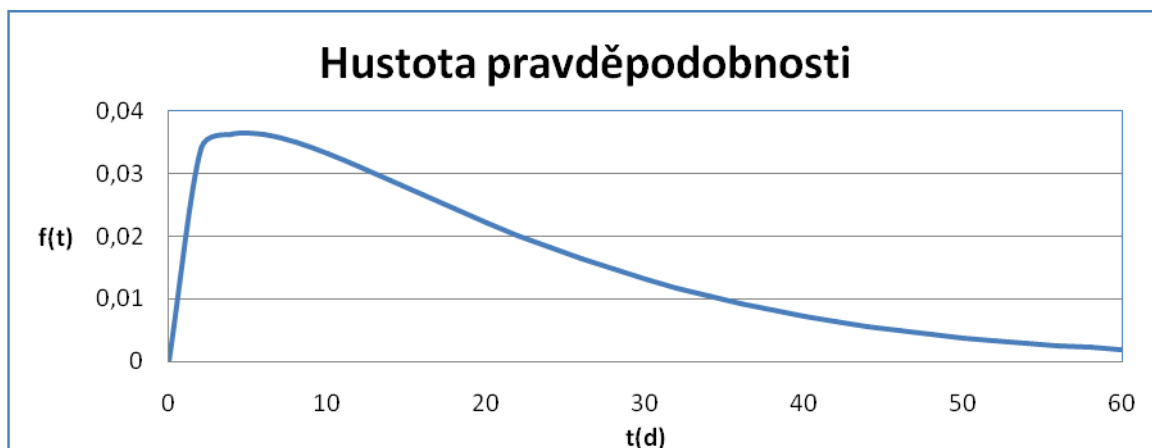
BEZPORUCHOVOST – PODVOZEK VOZU

Počet poruch celkem:

$$N = 39$$

Střední mezi poruchami:

$$T_s = 19,37 \text{ [d]}$$



Obr. č. 3.13: Hustota pravděpodobnosti – podvozek vozu

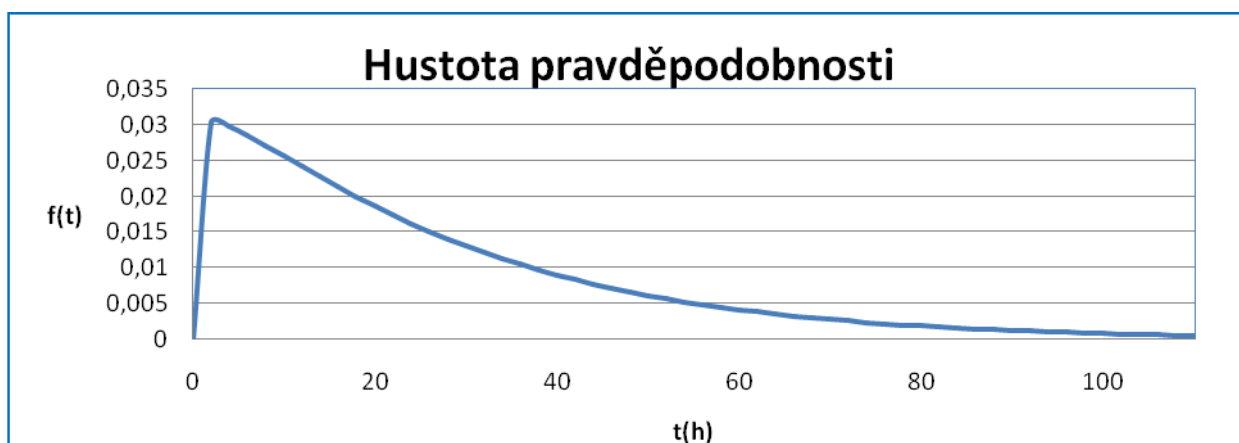
UDRŽOVATELNOST – PODVOZEK VOZU

Prostojů v údržbě celkem:

$$N = 19$$

Střední doba údržby:

$$T_s = 11,87 \text{ [h]}$$



Obr. č. 3.14: Hustota pravděpodobnosti – podvozek vozu

3.3.3 TRAKČNÍ POHON

Jelikož nebylo možné z dat Pars nova a.s. vyčíst podrobnější rozdělení, byl trakční pohon posuzován jako celek. Celé hnací ústrojí se skládá ze SM motoru Tendom TD,

hydromechanické převodovky, nápravové převodovky, reverzační převodovka, spojovacích kloubových hřídelů atd.

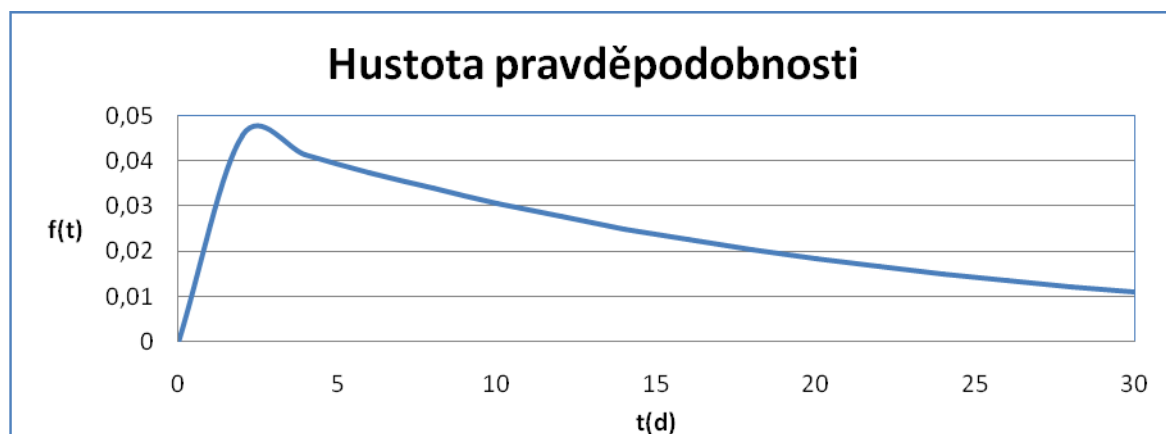
BEZPORUCHOVOST – TRAKČNÍ POHON

Počet poruch celkem:

$N = 55$

Střední doba údržby:

$T_s = 19,62$ [d]



Obr. č. 3.15: Hustota pravděpodobnosti – trakční pohon

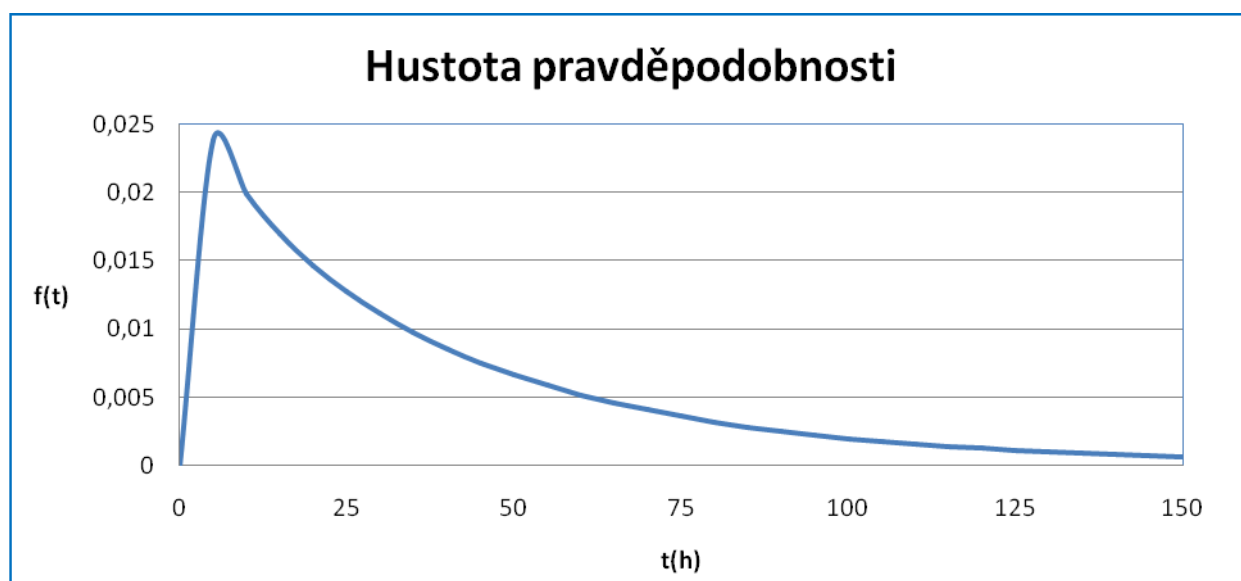
UDRŽOVATELNOST – TRAKČNÍ POHON

Prostojů v údržbě celkem:

$N = 32$

Střední doba údržby:

$T_s = 40,1$ [h]



Obr. č. 3.16: Hustota pravděpodobnosti – trakční pohon

3.3.4 NADŘRAZENÉ ŘÍZENÍ A PULT STROJVEDOUCÍHO

Zde byly posuzovány řízení a pult, které sestává z mnoha částí, některé z nich jsou:

Zobrazovací jednotky (rychloměr a podobně), zdrojové karty, mikrospínače, stykače atd.

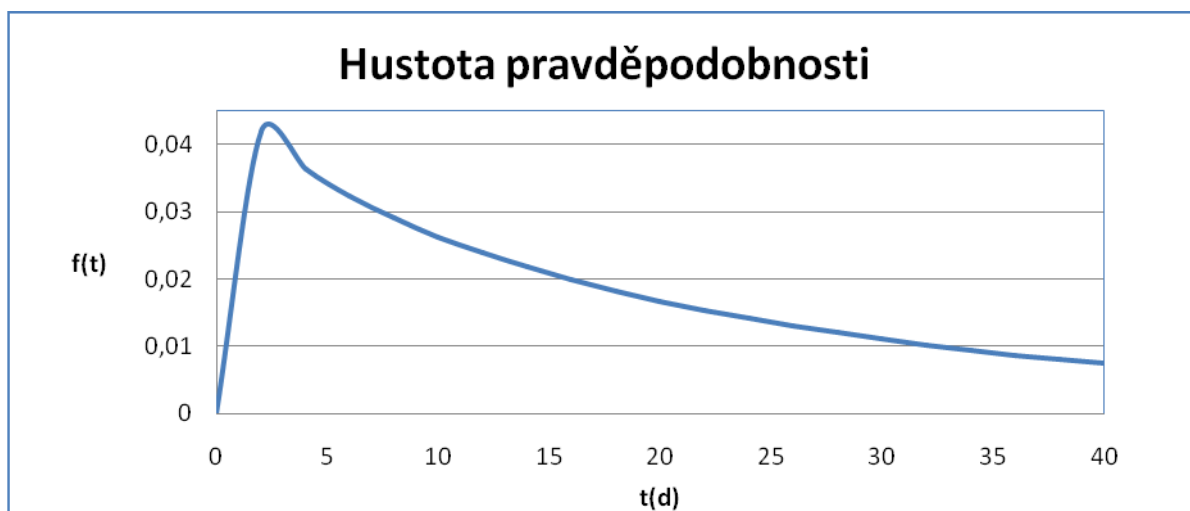
BEZPORUCHOVOST – NADŘRAZENÉ ŘÍZENÍ A PULT STROJVEDOUCÍHO

Počet poruch celkem:

$$N = 51$$

Střední doba mezi poruchami:

$$T_s = 25 \text{ [d]}$$



Obr. č. 3.17: Hustota pravděpodobnosti – nadřazené řízení a pult strojvedoucího

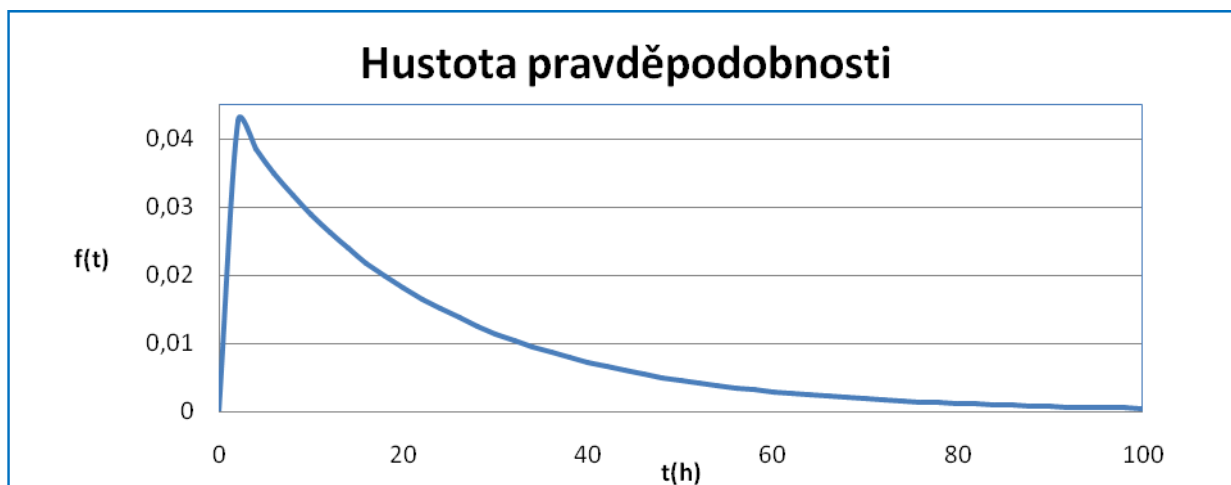
UDRŽOVATELNOST - NADŘRAZENÉ ŘÍZENÍ A PULT STROJVEDOUCÍHO

Prostojů v údržbě celkem:

$$N = 38$$

Střední doba údržby:

$$T_s = 21,8 \text{ [h]}$$



Obr. č. 3.18: Hustota pravděpodobnosti – nadřazené řízení a pult strojvedoucího

3.3.5 POMOCNÉ POHONY

V této kategorii byly posuzovány tyto části: Klínové řemeny, alternátory, akumulátory, kompresory, oběhová čerpadla, čerpadla a další. Byla posuzována spolehlivost a udržitelnost.

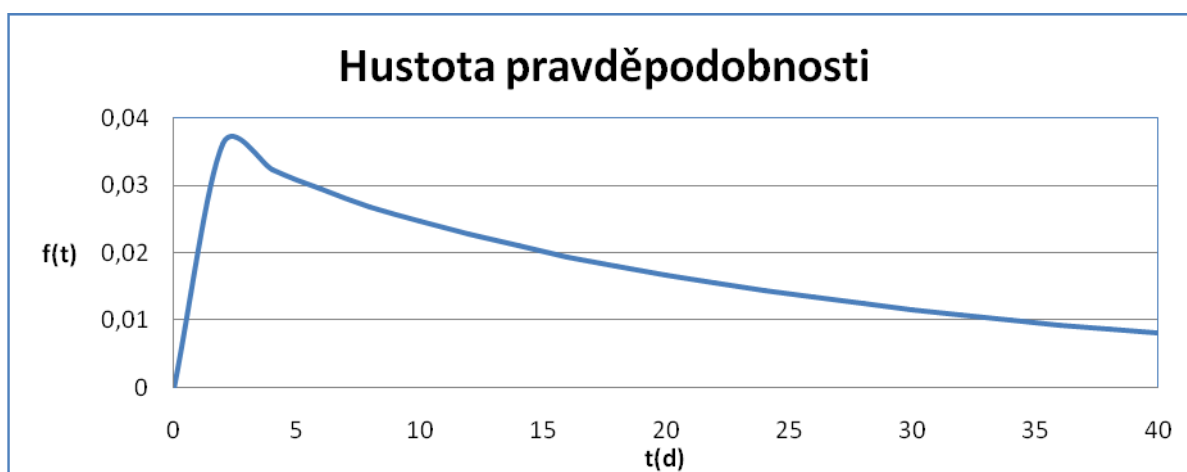
BEZPORUCHOVOST – POMOCNÉ POHONY

Počet poruch celkem:

$$N = 50$$

Střední mezi poruchami:

$$T_s = 28,29 \text{ [d]}$$



Obr. č. 3.19: Hustota pravděpodobnosti – pomocné pohony

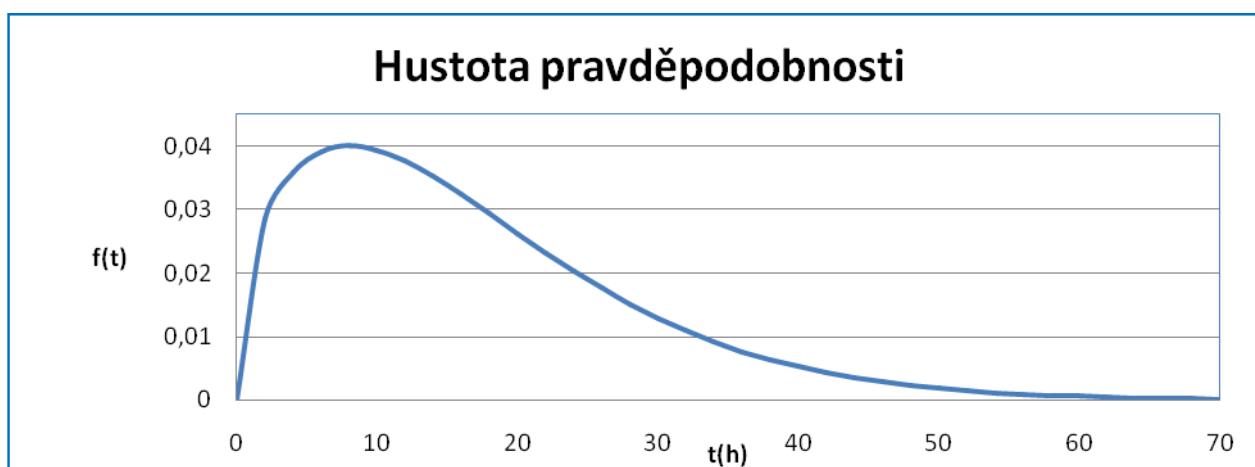
UDRŽOVATELNOST – TRAKČNÍ POHON

Prostojů v údržbě celkem:

$$N = 28$$

Střední doba údržby:

$$T_s = 16,74 \text{ [h]}$$



Obr. č. 3.20: Hustota pravděpodobnosti – pomocné pohony

3.3.6 TOPENÍ

V této části byla vyhodnocována spolehlivost a udržitelnost pouze pro samostatné topení.

Ve většině případech nebyly poruchy blíže specifikovány. V případě, že dojde v zimních měsících k poruše topení, je velice snížen komfort pro cestující.

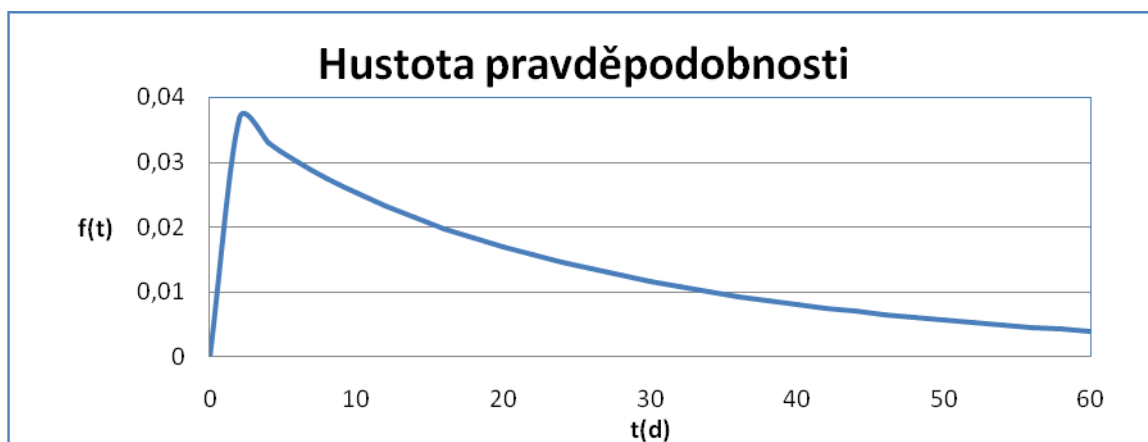
BEZPORUCHOVOST – TOPENÍ

Počet poruch celkem:

$$N = 33$$

Střední mezi poruchami:

$$T_s = 27,43 \text{ [d]}$$



Obr. č. 3.21: Hustota pravděpodobnosti – topení

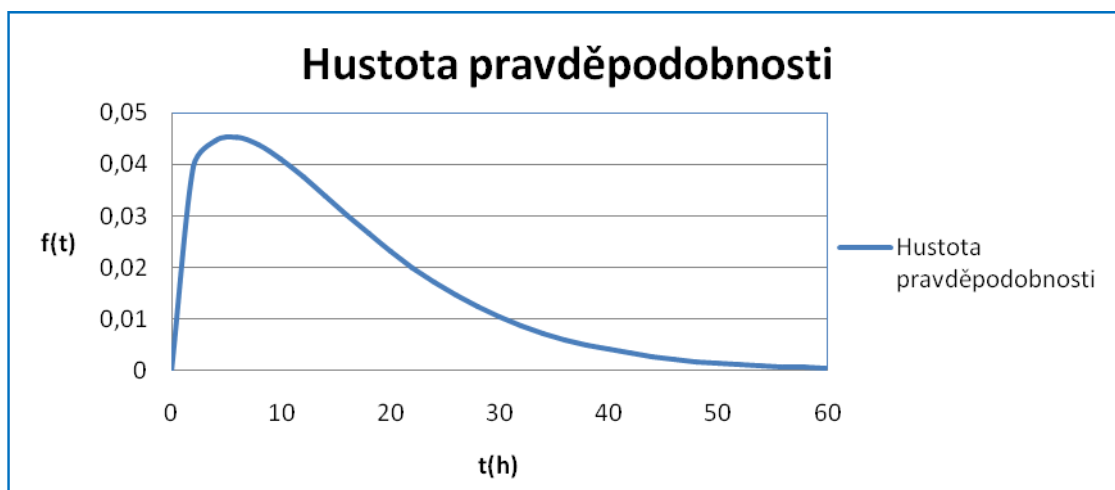
UDRŽOVATELNOST – TOPENÍ

Prostojů v údržbě celkem:

$$N = 19$$

Střední doba údržby:

$$T_s = 14,92 \text{ [h]}$$



Obr. č. 3.22: Hustota pravděpodobnosti – topení

4. TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ HODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

V této části budou shrnuty a porovnány výsledky dosažené při vyhodnocování provozní spolehlivosti a udržovatelnosti motorového vozu 814 Regionova a jeho částí. Důležitým ukazatelem bude střední doba do poruchy celku a střední doba v údržbě. Také srovnání jednotlivých částí a srovnání s udržovatelností, kde bude alespoň částečně možné posoudit, které části by měla být věnována větší pozornost v oblasti údržby vzhledem k střední době do poruchy a u kterých částí je pozornost zbytečně vysoká. Toto by mohlo vést k zjištění, že není zcela dobře navržen plán údržby vozidla. V poslední části budou vyhodnoceny ekonomické parametry.

4.1 Spolehlivostní parametry vozu 814 Regionova

K technickému hodnocení provozní spolehlivosti, tedy bezporuchovosti a udržovatelnosti bylo použito 35 vozů řady 814 Regionova. Celého vozového parku bylo náhodně vybráno 35 vozů, které nejsou záměrně označeny. Hlavním vyhodnoceným parametrem je střední doba mezi poruchami a střední doba údržby.

Střední doba do poruchy:

$$T_s = 30,21 \text{ [d]}$$

Střední doba údržby:

$$T_{s_u} = 23,14 \text{ [h]}$$

Dle střední doby do poruchy je patrné, že každé vozidlo je v provozu přibližně měsíc, než-li dojde k poruše. Prostož vozu v údržbě pak činí 23,14 hodin, téměř den prostoj vozu.

4.2 Spolehlivostní parametry jednotlivých částí vozu 814 Regionova

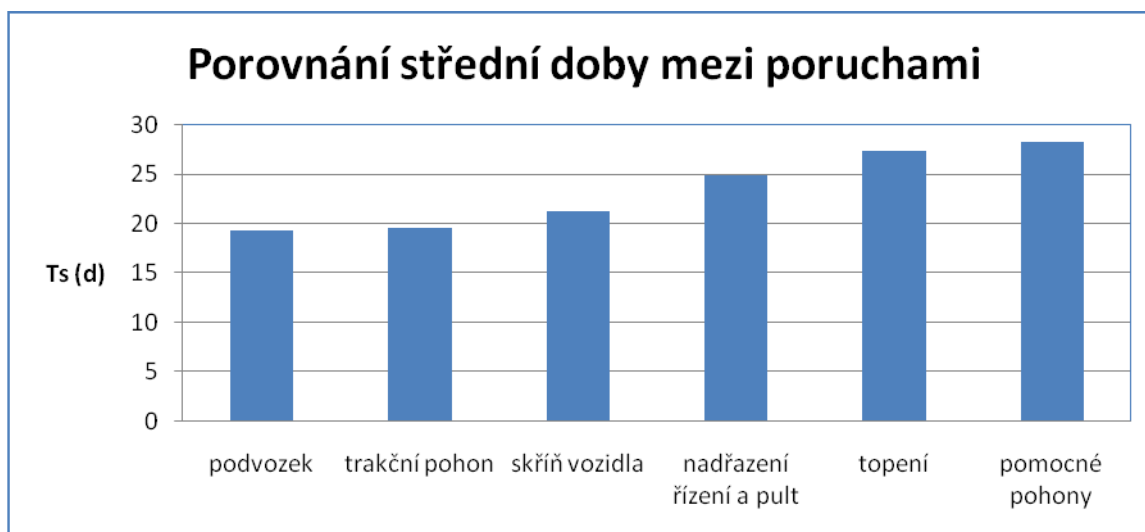
Vozidlo bylo rozděleno na 6 základních částí, ke kterým byl dostatek poruchových dat, aby mohly být vyhodnocovány spolehlivostní parametry. Tyto části jsou: trakční pohon, skříň vozu, nadřazené řízení a pult strojvedoucího, pomocné pohony, podvozek a topení.

4.2.1 Porovnání střední doby mezi poruchami

Tabulka: 8.0: Porovnání střední doby mezi poruchami částí vozu 814

Střední doba mezi poruchami částí		
číslo části:	Název:	Ts (d)
1	trakční pohon	19,62
2	skříň vozidla	21,35
3	nadřazení řízení a pult	25
4	pomocné pohony	28,29
5	podvozek	19,37
6	topení	27,43

V tabulce č.8.0. jsou vyhodnoceny střední doby mezi poruchami. Je zde tedy patrné, u kterých částí vozu dochází k poruchám nejčastěji. Názornější srovnání však dostaneme při zanesení hodnot do sloupcového grafu.

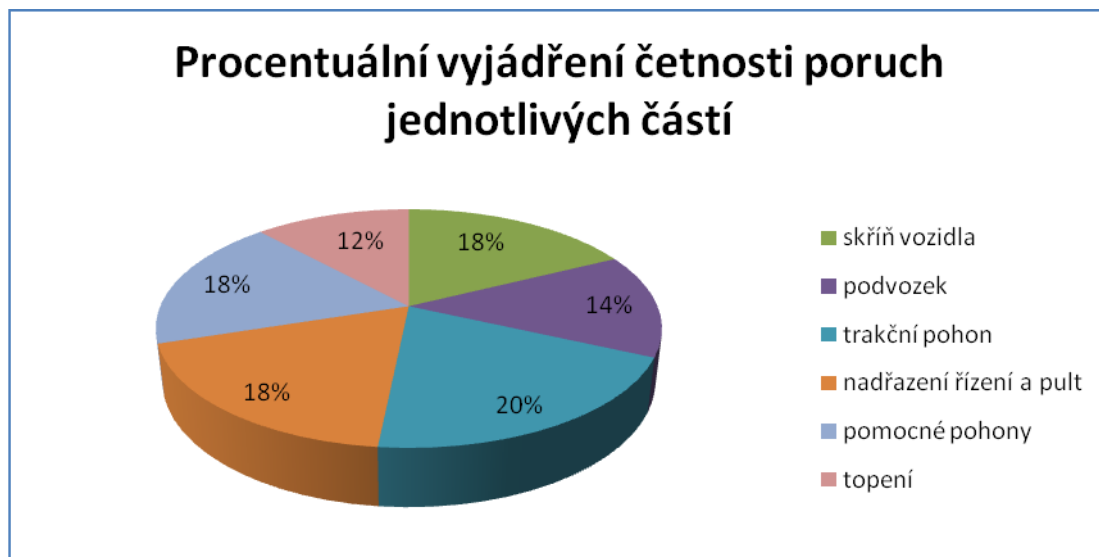


Obr. č. 4.1: Porovnání střední doby do poruchy jednotlivých částí vozu

Z tohoto grafu je patrné, které části mají nejnižší hodnotu doby mezi poruchami. Zatím co podvozek a trakční pohon nevychází z tohoto hodnocení příliš dobře, nejlepší doby mezi poruchami dosáhly části topení a pomocné pohony. Je nutné uvažovat, že trakční pohon v tomto případě není jeden celek, i když tak byl posuzován, ale skládá se z mnoha dílčích částí. Znamená to tedy, že porucha například turbodmychadla motoru, zapříčiní poruchu motoru a tak i celého trakčního pohonu. Trakční pohon byl posuzován takto, kvůli nedostatečnému rozdělení poruchových dat z provozu, která byla k dispozici.

4.2.2 Četnost poruch jednotlivých částí

Dalším názorným ukazatelem je počet poruch vyjádřený procentuálně ve výšečové grafu.



Obr. č. 4.2: Procentuální vyjádření četnosti poruch částí

Tabulka č.9.0: Srovnání četností porucha a $T_s(d)$

Srovnání četností poruch a středních dob mezi poruchami částí		
Název:	četnost:	$T_s(d)$
skříň vozidla	49	21,35
podvozek	39	19,37
trakční pohon	55	19,62
nadřazení řízení a pult	51	25
pomocné pohony	50	28,29
topení	33	27,43
suma	277	-

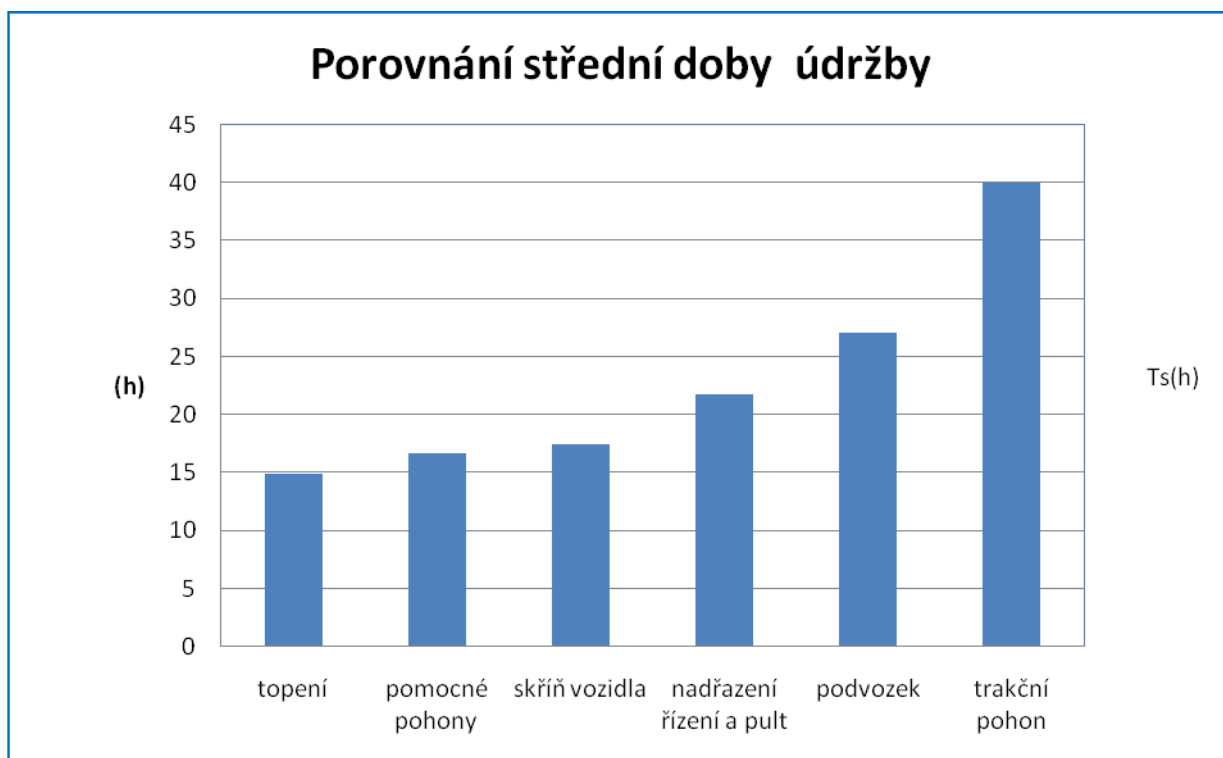
Při srovnání s předchozím sloupcovým grafem, který zobrazoval střední doby mezi poruchami jednotlivých částí je patrné, že například podvozek a trakční pohon měly nejkratší dobu mezi poruchami, ale pouze trakční pohon se podílí na největším počtu celkových poruch jednotlivých částí, zatímco podvozek se řadí k částem s nejmenší četností poruch. Nadřazené řízení a pult strojvedoucího, se střední dobou mezi poruchami řadil lepšímu nadprůměru, kdežto v procentuálním výčtu četností poruch patří jeho hodnocení k nejhorším. Skříň vozidla s 18% patří také k částem s vysokou celkovou četností poruch. Nejlépe ze všech částí vychází topení.

4.3 Porovnání středních dob údržby

Tabulka: 10.0: Porovnání střední doby údržby jednotlivých částí.

střední doba v údržbě		
číslo části:	Název:	Ts (h)
1	topení	14,92
2	skříň vozidla	17,43
3	pomocné pohony	16,74
4	nadřazení řízení a pult	21,77
5	podvozek	27,05
6	trakční pohon	40

V tabulce č.10.0 jsou vyhodnocené střední doby údržby a seřazeny vzestupně. Nejnázornější srovnání dostaneme grafickým porovnáním ve sloupcovém grafu.

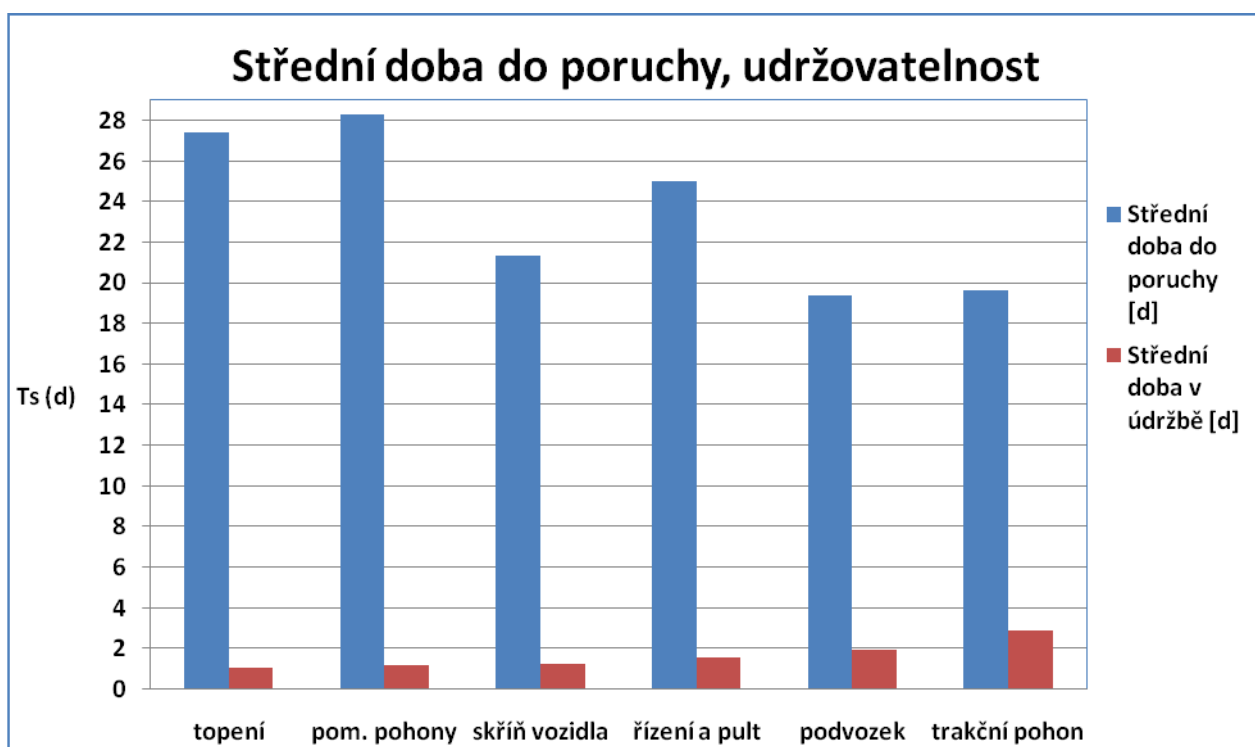


Obr. č. 4.3: Porovnání střední doby údržby

Z grafu je patrné, že nejnáročnější část na údržbu je z časového hlediska trakční pohon, což vyplývá ze složitosti konstrukce této části. Vyšší nároky na udržitelnost klade také podvozek, kde je údržba po poruše technologicky náročnější, než u jiných částí. Nejnižší střední doba v údržbě náleží části topení, které v celkovém hodnocení vychází zatím nejlépe.

4.4 Srovnání bezporuchovosti a udržitelnosti

Důležitým ukazatelem je srovnání střední doby do poruchy a střední doby údržby. Aby bylo možné srovnat tyto dvě části, bylo nutné převést hodnoty na stejné jednotky, protože střední doba v údržbě byla vyjádřena v hodinách, zatím co střední doba do poruchy ve dnech. Bylo tedy uvažováno, že každé vozidlo je denně v provozu **14 hodin** [3]. Střední doba mezi poruchami byla tedy převedena na hodiny bezporuchového provozu a srovnána se středními dobami jednotlivých částí v údržbě.

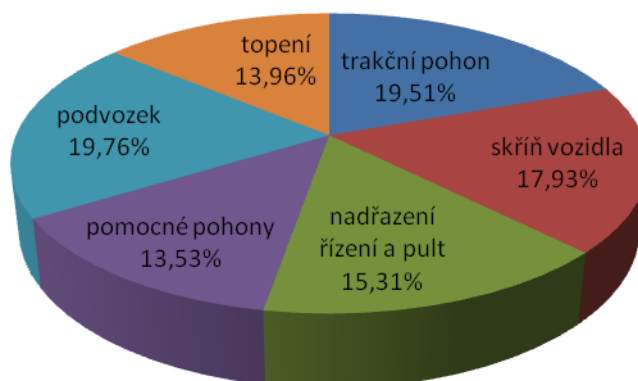


Obr. č. 4.4: Srovnání bezporuchovosti a udržitelnosti

4.5 Ekonomické hodnocení

Jestliže budeme uvažovat, že se náklady odvíjí od intenzity poruch a činí 100% za rok a rozdělíme je mezi jednotlivé části bez přihlédnutí k cenám dílů, vznikne výšečový graf demonstrující množství vynaložených finančních prostředků na jednotlivou část daného vozidla. Důvodem této úvahy je absence cen, které nebyly firmou Pars nova a.s. poskytnuty. Kdybychom cenu za opravy a údržbu znali, mohli bychom vydané finanční náklady na rok pro jednotlivou část vypočítat a vyjádřit tak číselnou hodnotu, která by vypovídala více o nákladech investovaných do jednotlivých částí.

Roční náklady rozdělené dle intenzity poruch



Obr. č. 4.5: Náklady vyjádřené v procentech - rozdělení podle intenzity poruch

4.5.1 Ustálený součinitel pohotovosti

Ostře sledovaným parametrem je ustálený součinitel pohotovosti $A(t)$, nebo-li pravděpodobnost, že je soustava nebo prvek v čase t v bezporuchovém stavu.

Uvažujeme - li, že posuzuji vozový park o sto vozech a součinitel $A(t) = 0,9$, znamená to, že ze 100 vozů je v daném časovém úseku, který sleduji v provozu devadesát vozidel ze sta. Dosáhne - li jiný dodavatel lepšího $A(t)$, bude dozajisté vhodné zvážit, pro kterého dodavatele se rozhodnout.

Výpočet:

$$A(t) = \frac{T_{sp}}{T_{sp}(t) + T_{so}(t)}$$

Kde:

T_{sp} – střední doba bezporuchového provozu (hod),

T_{so} – střední doba obnovy (hod),

A – ustálený součinitel pohotovosti.

Dosazení:

$$A(t) = \frac{30,2 \cdot 14}{30,2 \cdot 14 + 23,13} = 0,948$$

$$A(t) \approx \underline{\underline{0,95}}$$

V případě posouzení 35 motorových vozů 814 Regionova posuzovaných jeden rok, vyšel ustálený součinitel pohotovosti 0,948. Znamená to tedy, že za celý rok, rok je z těchto 35

vozů ve stálém provozu 33. Vztaženo na 100 vozů to tedy znamená, že je v provozu 95 vozů ze 100 za jeden rok. Kdybychom měli nabídku od firmy, která má ustálený součinitel pohotovosti 0,98 – za rok by bylo v provozu 98 vozů ze 100. Abychom dosáhli tohoto parametru při hodnotách spolehlivosti kterých jsme dosáhli, museli bychom investovat ještě do dalších 3 vozů. Z ekonomického hlediska to znamená investici v řádech desítek milionů. Uvažujme, že modernizace motorového vozu 814 stála přibližně 24 milionů korun. Jestliže bychom chtěli tedy dosáhnout ustáleného součinitele 0,98, jak je tomu u konkurenční firmy, museli bychom zakoupit o 3 vozy 814 Regionova více.

Uvažujeme – li cenu modernizace 24 milionů korun, bude výpočet následující.

$Cena = (A_1(t) \cdot 100 - A_2(t) \cdot 100) \cdot \text{cena modernizace}$

$(0,98 \cdot 100 - 0,95 \cdot 100) \cdot 24\,000\,000 = \mathbf{72\,000\,000\,Kč}$

Zde je z ekonomického hlediska velmi výhodné sledovat ustálený součinitel pohotovosti $A(t)$, vezmeme – li v úvahu, že rozdíl pouze 3 vozů znamená ve výsledku **72 000 000 Kč**.

5 Závěr

Dle hlavních stanovených cílů práce byla vyhodnocena provozní spolehlivost modernizovaného motorového vozu 814 Regionova a jeho částí. Vyhodnocená data mezi sebou byla porovnávána. Bylo posuzováno 35 motorových vozů 814, které dosáhly střední doby do poruchy $T_s = 30,21$ dní, což činí téměř měsíc mezi jednotlivými poruchami. Dalším blokem vycházejícím z normy ISO 9000:2000 byla vyhodnocována udržitelnost 35 vozů 814. Výsledkem bylo zjištění, že střední doba údržby činí 23,13 hodin, což je téměř jeden den strávený v údržbě.

Dále byla vyhodnocována bezporuchovost a udržitelnost jednotlivých částí motorového vozu 814. Těchto jednotlivých částí bylo celkem 6 a byly to: Skříň vozidla, podvozek, trakční pohon, nadřazené řízení a pult strojvedoucího, pomocné pohony a topení. Pro tyto jednotlivé části byly použity data z ročního provozu již zmíněných 35 motorových vozů. Nejhuře ze všech částí z hlediska bezporuchovosti vychází podvozek, který následoval trakční pohon u které je třeba přihlídnout k tomu, že byly vyhodnocovány jak malé, tak velké poruchy. Trakční pohon byl vyhodnocován jako celek i když se skládá z mnoha složitých dílčích částí. Proto je četnost poruch vysoká a také střední doba do poruchy. K průměru se řadily části nadřazeného řízení a pultu strojvedoucího. Nejlépe z hlediska středních dob mezi poruchami z hodnocených částí skončily pomocné pohony a topení. Z hlediska udržitelnosti vycházely nejhuře části trakčního pohonu, podvozku a nadřazeného řízení a pultu strojvedoucího. K průměru patřila skříň vozidla a pomocné pohony, nejlépe vyšlo topení. Hodnoty jednotlivých středních do mezi poruchami a středních dob údržby jsou uvedeny v tabulkách v předchozích částech práce. Z hlediska nedostatku dat nebyly vyhodnocovány například brzdy, což je vítaným faktem. Znamená to tedy, že četnost poruch byla tak nízká v období jednoho hodnoceného roku, že nebylo možné vyhodnotit provozní spolehlivost této části. Z hlediska ekonomického hodnocení byly rozděleny finanční náklady mezi jednotlivé části dle intenzity poruch a teoreticky navrhnout výpočet nákladů vynaložených za rok na jednotlivé části. Ceny jednotlivých dílů nebyly z hlediska utajení poskytnuty firmou Pars nova a.s. Dále byl vyjádřen ustálený součinitel pohotovosti, který udává pravděpodobnost, že je soustava nebo část v čase t bezporuchovém stavu. Tento součinitel $A(t)$ dosáhl hodnoty 0,948. Tedy za rok, je cca 95 vozů ze 100 je schopno dosáhnout bezporuchového provozu. Kdybychom chtěli dosáhnout lepšího $A(t)$ znamenalo by to investici do dalších vozů. To by bylo spojeno s dalšími vynaloženými náklady v řádech desítek miliónů korun.

Jelikož poskytnutá data jsou z větší části z období uvedení motorového vozu do provozu, můžeme dle vanové křivky uvažovat, že se bude intenzita poruch snižovat s přechodem do normálního života. Tedy střední doby mezi poruchami se sníží a ustálí na téměř konstantní hodnotě a se zvyšující se zkušeností, odborností pracovníků a logistickou zajištěností bude klesat i střední doba údržby.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FAMFULÍK, Jan. Míková, Jana, Radek. Krzyžanek. Teorie Údržby. Vysoká škoda báňská – Technická univerzita Ostrava [online]. 2007. [cit. 27.12.2009] Dostupný na WWW: < <http://homel.vsb.cz/~krz011/> >.
- [2] ZLINSKÝ, Zbyněk. *Motorové vozy na našich kolejích*. [online]. 2007. [cit. 10.1.2010] Dostupný na WWW: < <http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002160-Motorove-vozy-na-nasich-kolejich-rada-810.asp> >.
- [3] Doc. Ing. Jan famfulík Ph.D. – ústní sdělení (Odborný asistent VŠB-TU, Institut dopravy, 17. Listopadu, Ostrava) dne 22.4.2011.
- [4] PARS nova a.s. Šumperk. *Technický a funkční popis 814-914*. 68 stran.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

	Strana
Obr. č. 1.0 - Motorový vůz řady 814	3
Obr. č. 2.0 - Spolehlivost dle ČSN ISO 9000:2000 [Famfulík, Jan 2007]	6
Obr. č. 2.1 - Spolehlivost dle IEC 50 (191) [Famfulík, Jan 2007]	7
Obr. č. 2.2 - Vanová křivka [Famfulík, Jan 2007]	9
Obr. č. 2.3 - průběh intenzity poruch a vliv modernizace [Famfulík, Jan 2007]	10
Obr. č. 2.4 - Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny [Famfulík, Jan 2007]	12
Obr. č. 2.5 - Graf histogramu četností	14
Obr. č. 2.6 – Lineární regrese	15
Obr. č. 2.7 - Weibullovo rozdělení – parametry tvaru pro $f(t)$	17
Obr. č. 2.8 - Weibullovo rozdělení – parametry tvaru pro $F(t)$	18
Obr. č. 2.9 - Průběh bezporuchovosti	19
Obr. č. 2.10 - Intenzita poruch	19
Obr. č. 3.1 - Histogram četností pro 35 motorových vozů řady 814	21
Obr. č. 3.2 - Lineární regrese	22
Obr. č. 3.3 - Hustota pravděpodobnosti – pro 35 motorových vozů 814	23
Obr. č. 3.4 - Průběh intenzity poruch pro 35 motorových vozů 814	23
Obr. č. 3.5 - Distribuční funkce a bezporuchovosti pro 35 motorových vozů 814	24
Obr. č. 3.6 - Histogram četností pro 35 motorových vozů řady 814 – udržovatelnost	25
Obr. č. 3.7 - Lineární regrese – udržovatelnost	26
Obr. č. 3.8 - Hustota pravděpodobnosti - udržovatelnost pro 35 motorových vozů 814	27
Obr. č. 3.9 - Průběh intenzity poruch pro 35 motorových vozů 814	27
Obr. č. 3.10 - Distribuční funkce a bezporuchovosti pro 35 motorových vozů 814	28
Obr. č. 3.11 - Hustota pravděpodobnosti – skříň vozu	29
Obr. č. 3.12 - Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost	29
Obr. č. 3.13 - Hustota pravděpodobnosti – podvozek vozu	30
Obr. č. 3.14 - Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost	30
Obr. č. 3.15 - Hustota pravděpodobnosti – trakční pohon	31
Obr. č. 3.16 - Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost	31
Obr. č. 3.17 - Hustota pravděpodobnosti – nadřazené řízení a pult strojvedoucího	32
Obr. č. 3.18 - Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost	32
Obr. č. 3.19 - Hustota pravděpodobnosti – pomocné pohony	33

Obr. č. 3.20 - Hustota pravděpodobnosti udržovatelnost	33
Obr. č. 3.21 - Hustota pravděpodobnosti – topení	34
Obr. č. 3.22 - Hustota pravděpodobnosti – udržovatelnost	34
Obr. č. 4.1 - Porovnání střední doby do poruchy jednotlivých částí vozu	36
Obr. č. 4.2 - Procentuální vyjádření četnosti poruch částí	37
Obr. č. 4.3 - Porovnání střední doby údržby	38
Obr. č. 4.4 - Srovnání bezporuchovosti a udržovatelnosti	39
Obr. č. 4.5 - Náklady vyjádřené v procentech - rozdělení podle intenzity poruch	40

Tabulky:

Tab. č. 1.0 - Data pro sestavení histogramu	13
Tab. č. 1.1 - Část tabulky s parametry lineární regrese	15
Tab. č. 2.0 - Data pro sestavení histogramu četností pro 35 motorových vozů typu 814	20
Tab. č. 3.0 - Výpočty pro sestavení grafu LR	21
Tab. č. 4.0 - Parametry lineární regrese	22
Tab. č. 5.0 - Data pro sestavení histogramu četností	24
Tab. č. 6.0 - Část výpočtů pro sestavení grafu LR – udržovatelnost	25
Tab. č. 7.0 - Parametry regrese	26
Tab. č. 8.0 - Porovnání střední doby do poruchy částí vozu 814	36
Tab. č. 9.0 - Srovnání četností poruch a $T_s(d)$	37
Tab. č. 10.0 - Porovnání střední doby údržby jednotlivých částí	38

PŘÍLOHY

Příloha A:

- Rovnice přímký pro 35 motorových vozů 814 Regionova - bezporuchovost

Zdroj:

Datový nosič/rovnice přímký 814 Regionova - bezporuchovost

Příloha B:

- Rovnice přímký pro 35 motorových vozů 814 Regionova - udržovatelnost

Zdroj:

Datový nosič/rovnice přímký 814 Regionova – udržovatelnost

Příloha C:

- Rovnice přímký pro jednotlivé části – bezporuchovost
- Graf průběhu $F(t)$ a $R(t)$

Zdroj:

Datový nosič/rovnice přímký 814 Regionova – bezporuchovost částí

Příloha D:

- Rovnice přímký pro jednotlivé části – udržovatelnost
- Graf průběhu $F(t)$ a $R(t)$

Zdroj:

Datový nosič/rovnice přímký 814 Regionova – udržovatelnost částí

Datový nosič

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při řešení bakalářské práce a společnosti Pars nova a.s. za poskytnutá data, především pak panu Kamilu Hájkovi, který mi byl nejvíce nápomocen.